



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS



EDIGLÉCIA PEREIRA DE ALMEIDA

**REFLEXOS DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E DOS NÍVEIS DE ÁGUA EM
ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE MUDAS DE ESPÉCIES
ARBÓREAS DA CAATINGA**

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2020

EDIGLÉCIA PEREIRA DE ALMEIDA

**REFLEXOS DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E DOS NÍVEIS DE ÁGUA EM
ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE MUDAS DE ESPÉCIES
ARBÓREAS DA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos/PB, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2020



A447r Almeida, Ediglécia Pereira de.

Reflexos da adubação potássica e dos níveis de água em aspectos fisiológicos e bioquímicos de mudas de espécies arbóreas da caatinga. / Ediglécia Pereira de Almeida. - 2020.

61 f.

Orientador: Professor Dr. Antônio Lucineudo de Oliveira Freire.

Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Saúde e Tecnologia Rural.

1. Adubação potássica. 2. Estresse hídrico. 3. Espécies arbóreas da caatinga. 4. Nutrição vegetal. 5. Adubação mineral. 6. Cloreto de potássio - adubação. 7. Tolerância à seca - espécies da caatinga. 8. Trocas gasosas. 9. Acúmulo de solutos orgânicos. 10. Jurema Preta. 11. Mimosa tenuiflora (Willd) Poiret. 12. Jucá. 13. Libidibia ferrea (Mart. Ex Tul). 14. Jurema preta. 15. Aroeira. 16. Myracrodruon urundeuva Fr. Allem. I. Freire, Antonio Lucineudo de Oliveira. II. Título.

CDU:631.81(043.2)

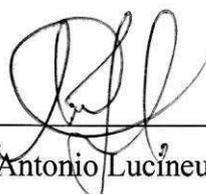
Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

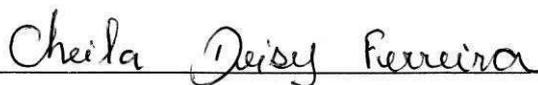
EDIGLÉCIA PEREIRA DE ALMEIDA

**REFLEXOS DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E DOS NÍVEIS DE ÁGUA EM
ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE MUDAS DE ESPÉCIES
ARBÓREAS DA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande/CSTR, como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.



Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)
(Orientador)



Prof.ª Dr.ª Cheila Deisy Ferreira
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)
(1º Examinador)



Prof.ª Dr.ª Ivonete Alves Bakke
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)
(2º Examinador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proteger ao longo desta caminhada e por permitir a realização de mais um passo na minha vida acadêmica.

À minha família por todo o apoio de sempre. Vocês são a minha motivação!

Ao meu orientador Antonio Lucineudo de Oliveira Freire, por ter me acolhido, por permitir que desenvolvesse este trabalho sob sua orientação, pela paciência, conversas e conhecimentos repassados. Só tenho a agradecer!

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade para participarem deste trabalho e por suas contribuições.

A todo o corpo docente do PPGCF, e a Paulo, secretário do PPGCF, pela disponibilidade de sempre.

Aos funcionários do Viveiro Florestal, na pessoa de Seu Ivalter, pelo carinho e disponibilidade ao longo de todo esse tempo.

A George Martins e Wesley Batista, pela disponibilidade e ajuda na fase experimental do trabalho. Vocês foram fundamentais para a realização dessa pesquisa. Muito obrigada!

Ao meu amigo científico Arliston Leite, com o qual sempre compartilhei minhas dúvidas e anseios. Obrigada por tudo. De igual forma, agradeço aos colegas da turma de mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Teor relativo de água (<i>TRA</i>) de plantas de aroeira, aos 30 (A) e 60 dias (B), e de jurema-preta aos 30 dias (C) em função dos níveis de água e da adubação potássica	37
Figura 2. Teor relativo de água (<i>TRA</i>) de plantas de jucá, aos 30 dias, em função dos níveis de água (A) e da adubação potássica (B)	38
Figura 3. Taxa de transpiração (<i>E</i>) das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica	39
Figura 4. Condutância estomática (<i>gs</i>) das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica	41
Figura 5. Taxa de fotossíntese (A) das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica	42
Figura 6. Eficiência instantânea (<i>EUAI</i>) do uso da água das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração foliar de aminoácidos totais em plantas de aroeira e jucá em função dos níveis de água aos 60 dias após o início dos regimes hídricos	45
Tabela 2. Concentração foliar de aminoácidos totais em plantas de aroeira em função da adubação potássica aos 60 dias após o início dos regimes hídricos	45
Tabela 3. Efeito dos níveis de água na concentração foliar de proteínas em plantas de aroeira aos 60 dias após o início dos regimes hídricos	46
Tabela 4. Efeito das doses de potássio na concentração foliar de proteínas em plantas de aroeira aos 60 dias após o início dos regimes hídricos	46
Tabela 5. Efeito dos níveis de água e das doses de potássio na concentração foliar de proteínas em plantas de jucá e jurema-preta aos 60 dias após o início dos regimes hídricos	47
Tabela 6. Efeito das doses de potássio na concentração foliar de açúcares solúveis totais em plantas de jurema-preta aos 60 dias após o início dos regimes hídricos.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Espécies em estudo	13
2.2 Estresse hídrico e tolerância à seca	15
2.3 Mecanismos estomáticos sob condições de deficiência hídrica	18
2.4 Nutrição e tolerância à seca	19
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 1 – TROCAS GASOSAS E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS EM MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA CAATINGA EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA E DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA	31
RESUMO	32
ABSTRACT	32
1 INTRODUÇÃO	33
2 MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1 Local e condução do experimento	34
2.2 Delineamento experimental e tratamentos	35
2.3 Parâmetros avaliados	36
2.4 Análise estatística	36
3 RESULTADOS	37
3.1 Teor relativo de água	37
3.2 Comportamento estomático	38
3.3 Eficiência instantânea no uso da água (<i>EUA_i</i>)	43
3.4 Concentrações foliares de aminoácidos, proteínas e açúcares solúveis totais	45
4 DISCUSSÃO	48
4.1 Teor relativo de água	48
4.2 Comportamento estomático em função dos níveis de água e da adubação.....	49
4.3 Eficiência instantânea no uso da água (<i>EUA_i</i>)	52
4.4 Concentrações foliares de aminoácidos, proteínas e açúcares solúveis totais	52
5 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	55

Almeida, Ediglécia Pereira. Reflexos da adubação potássica e dos níveis de água em aspectos fisiológicos e bioquímicos de mudas de espécies arbóreas da caatinga. 2020. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos — PB. 2020. 62f.

RESUMO

Para que sejam minimizados os efeitos da deficiência hídrica nas plantas, principalmente em razão do cenário atual global, é necessário que sejam adotadas estratégias visando aumentar a tolerância das plantas a essa condição adversa. No entanto, pesquisas visando à atenuação dos efeitos do déficit hídrico em espécies da caatinga são escassas. Dessa forma, este estudo teve como objetivos avaliar os efeitos da disponibilidade de água em aspectos fisiológicos e bioquímicos de plantas jovens de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem), jucá (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul) e jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret), bem como analisar o papel do K na mitigação desses efeitos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 3 x 3, correspondendo a três doses de potássio [0, 97,5 e 195 mg dm⁻³ K] e três níveis de água [100%cv (controle), 50%cv (déficit moderado) e 25%cv (déficit severo)], tendo como fonte do nutriente o cloreto de potássio (KCl). As plantas foram mantidas em sacos plásticos (28cm x 15cm) contendo 5 kg de substrato. Foram avaliados o teor relativo de água (TRA), a taxa de transpiração (E), a condutância estomática (gs), a taxa fotossintética (A), a eficiência instantânea no uso da água (EUA_i) e as concentrações foliares de açúcares totais, aminoácidos solúveis totais e proteínas. O déficit hídrico promoveu redução progressiva na taxa de transpiração, condutância estomática, taxa fotossintética e na eficiência instantânea no uso da água nas três espécies estudadas, sendo que a magnitude das respostas variou com a espécie e a época de avaliação. O fornecimento de 195 mg/dm³ de K influenciou positivamente as trocas gasosas das espécies estudadas quando a disponibilidade hídrica foi reduzida. Ocorreu acúmulo de solutos osmoticamente ativos (aminoácidos e açúcares solúveis) nas espécies aroeira e jucá à proporção que o déficit hídrico aumentou.

Palavras-chave: tolerância à seca, trocas gasosas, estresse hídrico, potássio.

Almeida, Ediglécia Pereira. Reflexes of potassium fertilization and water levels in physiological and biochemical aspects of seedlings of caatinga tree species. 2020. Master's Dissertation in Forest Sciences, CSTR/UFCG, Patos — PB. 2020. 62 pgs

ABSTRACT

In order to minimize the effects of water deficiency on plants, mainly due to the current global scenario, it is necessary that strategies be adopted to increase the tolerance of plants to this adverse condition. However, researches aiming at mitigating the effects of water deficit in caatinga species are scarce. So, this study aimed to evaluate the effects of water availability on physiological and biochemical aspects of young plants of *Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem, *Libidibia ferrea* Mart. Ex Tul and *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret, as well as to analyze the role of K in mitigating these effects. The experiment was conducted in a completely randomized design (DIC), factorial scheme 3x3, corresponding to three potassium doses [0, 97.5 and 195 mg dm⁻³ K] and three water levels [100%cv (control), 50%cv (moderate deficit) and 25%cv (severe deficit)], with potassium chloride (KCl) as the nutrient source. Plants were kept in plastic bags (28cm x 15cm) containing 5kg of substrate, relative water content (*RWC*), transpiration rate (*E*), stomatal conductance (*gs*), photosynthetic rate (*A*), water use efficiency intrinsic (*WUEi*) and leaf concentrations of total sugars, total soluble amino acids and proteins. The water deficit promoted a progressive reduction in the rate of transpiration, stomatal conductance, photosynthetic rate and in the instant efficiency in the use of water in the three species studied, with the magnitude of the responses varying with the species and the time of evaluation. The supply of 195 mg/dm³ of K positively influenced the gas exchange of the studied species when water availability reduced. There was an accumulation of osmotically active solutes (amino acids and soluble sugars) in the aroeira and jucá species as the water deficit increased.

Keywords: drought tolerance, gas exchange, water stress, potassium.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, possui área de 844.453 Km², o que corresponde a aproximadamente 54% da região Nordeste e 10% do território nacional (IBGE, 2004). Tal bioma é caracterizado por apresentar clima semiárido, com elevadas médias anuais de temperatura (25°C a 29°C), de evaporação (média de 2.000 mm), além de baixos índices de precipitação pluviométrica (entre 250 e 1500 mm), distribuídos de forma irregular e concentrados nos três a cinco meses do ano (NIMER, 1972; PRADO, 2003). Esse conjunto de contrastes climáticos e físicos condiciona o aparecimento de diferentes tipologias vegetacionais (GIULIETTI et al., 2004) adaptadas às condições semiáridas existentes nesse bioma.

É um bioma extremamente resiliente que apresenta grande riqueza biológica com espécies exclusivas e vegetação sazonal condicionada aos regimes de precipitação existente na região, sendo que as atividades relacionadas à agricultura de subsistência, assim como a retirada de madeira sem a utilização de um manejo adequado, bem como o uso intensivo do solo contribuem para a perda da vegetação nativa, degradação do solo e conseqüentemente o agravamento de problemas relacionados à disponibilidade hídrica.

O comportamento das espécies vegetais diante das mudanças climáticas é um assunto cada vez mais pertinente, uma vez que tais alterações causam inúmeras perturbações ambientais, a exemplo do aumento na temperatura global e de irregularidades nos regimes das chuvas. De acordo com a World Meteorological Organization (WMO, 2019), os últimos quatro anos (2015 a 2018) foram os mais quentes em razão das crescentes emissões de dióxido de carbono (CO₂). Somados a esse cenário global, a degradação das terras e os fatores característicos da região Nordeste como alta variabilidade na precipitação, e chuvas concentradas em poucos meses do ano, tornam a região semiárida brasileira como uma das mais vulneráveis às alterações climáticas (FRANCHITO; FERNANDEZ; PAREJA, 2014; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017).

Diante das ações que degradam a vegetação da Caatinga, é necessário, então, que se repensem as formas de utilização do solo e dos recursos naturais do bioma e o desenvolvimento de projetos que visem à sua recuperação. Isso pode ocorrer, por exemplo, através da reposição de espécies vegetais que existiam no ambiente antes da sua degradação, visando assim à retomada dos serviços ecossistêmicos e a manutenção da biodiversidade local (CHAZDON, 2008).

Em trabalhos de restauração, bem como de recuperação de áreas degradadas, é necessário que se conheçam as espécies a serem utilizadas, levando em consideração a

diversidade a ser implantada. Dessa forma, os aspectos silviculturais da produção de mudas como adubação e irrigação se tornam essenciais para o sucesso de tais projetos, uma vez que se precede a isso a utilização de mudas de qualidade.

Além dos aspectos silviculturais, estudar a ecofisiologia das espécies, tomando como ponto de partida o comportamento e adaptabilidade a situações adversas, é crucial para o entendimento de como modulam suas respostas em função das alterações no ambiente, como a redução da disponibilidade hídrica. Informações a respeito das respostas fisiológicas de plantas serão componentes-chave na compreensão de como determinadas espécies respondem às alterações climáticas, o que é essencial para prever a estrutura das florestas futuras (PELTIER; IBÁÑEZ, 2015).

Apesar de não desempenhar função estrutural nas plantas por não fazer parte de nenhum composto orgânico (SILVEIRA, 2000), o K^+ atua como ativador enzimático na síntese de proteínas, fotossíntese e osmorregulação (CAKMAK, 2005; JIN et al., 2011; KERBAUY, 2013). Plantas com deficiência de potássio podem apresentar irregularidade na abertura dos estômatos, acarretando prejuízos na assimilação de CO_2 e na fotossíntese (JIN et al., 2011; MALAVOLTA; VITT; OLIVEIRA, 1997; SILVEIRA, 2000).

Estudos com plantas nativas da Caatinga relacionados aos aspectos fisiológicos e nutrição mineral ainda são incipientes, mas conhecer o comportamento dessas espécies, levando em consideração situações adversas, é fundamental para o sucesso no desenvolvimento de projetos de recuperação de áreas degradadas. Pretende-se, dessa forma, contribuir para a ampliação do conhecimento de processos ecofisiológicos de espécies vegetais da caatinga, enfocando aspectos silviculturais durante a fase de produção de mudas em viveiro de jurema preta, jucá e aroeira. Tais espécies pertencem a grupos sucessionais distintos, classificadas, respectivamente, como pioneira, secundária inicial e secundária tardia, sendo, assim, diferentes quanto à exigência hídrica.

Compreender como as plantas reagem a condições adversas, como a restrição hídrica, levando em consideração a sua fisiologia, é de extrema importância para o manejo correto das plantas que estão inseridas no semiárido onde os problemas com secas são uma constante. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivos: (a) verificar os efeitos da disponibilidade de água nas trocas gasosas e acúmulo de solutos orgânicos em plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, adubadas com potássio durante a fase de viveiro; (b) avaliar a contribuição da adubação potássica na atenuação dos efeitos da baixa disponibilidade de água no comportamento estomático e bioquímico em plantas de aroeira, jucá e jurema-preta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Espécies em estudo

A jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret) pertence à família Fabaceae, é espécie pioneira nativa da Caatinga e apresenta capacidade de se desenvolver em ambientes áridos e degradados (AZEVEDO et al., 2012). Sua madeira apresenta boas características para a produção de carvão, como poder calorífico 6.866 cal/g (OLIVEIRA et al., 2006) e por isso é utilizada para fins energéticos. Na literatura, há relatos do uso da espécie para fins farmacológicos por algumas comunidades no tratamento de doenças inflamatórias (ROQUE; LOIOLA, 2013). Suas cascas possuem extratos etanólicos, o que confirma a atividade antimicrobiana da espécie, bem como o seu potencial terapêutico (BEZERRA et al., 2011). É comumente indicada para a recuperação de áreas degradadas por ser uma espécie pioneira e por preparar o solo para a colonização de espécies mais exigentes (MAIA, 2004; AZEVEDO et al., 2012).

Apresenta ainda elevado potencial forrageiro, pois suas folhas, na fase de vegetação, apresentam 19,6% de proteína bruta, contribuindo significativamente para a dieta animal, apesar de sua baixa digestibilidade (ARAÚJO FILHO, 2013). Avaliando a produção e a qualidade da forragem de jurema-preta com e sem acúleos em plantio adensado, Bakke et al. (2007) relataram que a poda de galhos finos de jurema-preta, no final da estação seca, rende até 5.833 kg ha⁻¹ por ano de forragem, constituindo-se em alternativa na dieta de pequenos ruminantes durante o período de escassez de alimentos. Além disso, verificaram que a jurema-preta com acúleos produz mais forragem do que as inermes, mas a qualidade da forragem de ambos os genótipos é semelhante e a facilidade de coleta e manejo de forragem da característica sem espinhos pode compensar seu menor nível de produção. Tais autores complementam que o teor de proteína bruta das forrageiras de ambos os genótipos é superior ao mínimo necessário para a manutenção dos animais, mas o alto teor de fibras forrageiras pode refletir negativamente na ingestão e na digestibilidade dos alimentos.

O jucá (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul)), conhecido popularmente como pau-ferro, pertencente à família Fabaceae, é espécie colonizadora de estágios secundários. Sua madeira apresenta cerne bastante duro com densidade 0,804 g/cm⁻³ (VITORIO, 2013), sendo muito empregada na confecção de vigas, esteios, estacas e lenha (LORENZI, 1992; CARVALHO, 2003).

Na medicina popular, há relatos do uso da espécie para dor nos rins, diabetes e inflamações (PEREIRA JÚNIOR et al., 2014). Sampaio et al. (2009) descrevem o potencial do extrato metanólico dos seus frutos na redução de patógenos orais em modelos planctônicos ou biofilme. Nas ciências animais, Oliveira et al (2010) avaliaram o potencial cicatrizante da pomada de pau-ferro no tratamento de feridas cutâneas em caprinos e concluíram que o uso tópico da pomada apresenta efeito significativo na cicatrização. Dessa forma, devido ao seu potencial terapêutico, a espécie supracitada compõe a lista das 61 espécies inseridas na Relação Nacional das Plantas Medicinais de Interesse ao Sistema Único de Saúde (RENISUS) (MARMITT et al., 2015). Apresenta ainda potencial de uso para recursos forrageiros (ARAÚJO FILHO, 2013) e paisagísticos (NOGUEIRA et al., 2010), além de ser uma espécie indicada para restauração de matas ciliares (JESUS et al., 2017).

A aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allemão), conhecida popularmente como aroeira do sertão, pertencente à família Anacardiaceae, colonizadora de estágios secundários tardios e com ampla distribuição pelo país (LORENZI, 1992). Apresenta potencial farmacológico, sendo amplamente utilizada por algumas comunidades no tratamento de diversas doenças, como inflamações na garganta e no fígado, dores estomacais, gastrite, irritação na pele, tosse, bronquite e cicatrizante (LUCENA et al., 2011; RIBEIRO et al., 2014; PEREIRA JÚNIOR et al., 2014). Alves et al. (2009), observaram que o extrato hidroalcolico da aroeira-do-sertão apresenta atividade antifúngica sobre as cepas de *Candida albicans*, *Candida tropicalis* e *Candida kruse* sugerindo, assim, a utilização dessa planta como meio alternativo na terapêutica odontológica.

As cascas e folhas da aroeira-do-sertão apresentam expressivas quantidades de taninos, o que justifica a sua utilização no curtume de couros (MONTEIRO et al., 2005). Possui madeira alta de resistência ao apodrecimento, com densidade de $0,725 \text{ g/cm}^3$ (VITORIO, 2013), o que configura sua utilização para obras externas, fabricações de estacas, mourões, vigas, lenhas e carvão (MAIA, 2004). Devido à sua diversidade de usos, foi explorada de forma intensa e indiscriminada na região semiárida, o que acarretou na sua inclusão na lista oficial do Ministério do Meio Ambiente de espécies ameaçadas de extinção, segundo a Instrução Normativa N° 06 de 23 de setembro de 2008 (MMA, 2008). Apresenta ainda potencial para recuperação de áreas degradadas por mineração (BARBOSA, 2008)

2.2 Estresse hídrico e tolerância à seca

As plantas sofrem diversos tipos de estresses ambientais, tais como o déficit hídrico, a salinidade dos solos, as altas temperaturas, a deficiência de oxigênio no ambiente radicular e a supressão de um nutriente, os quais limitam o seu crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2013; DIAS et al., 2019). Cada espécie pode responder de forma diferente ao estresse exercido pelo ambiente, podendo ocorrer alterações anatômicas, morfológicas, bioquímicas e celulares (ALVES et al., 2009; COSTA et al., 2015; QUEIROZ, 2018) que permitem que as plantas suportem os baixos índices pluviométricos como os ocorrentes no bioma Caatinga.

A seca é uma condição meteorológica à qual as espécies estão sujeitas e, para que possam sobreviver sob tais condições, elas devem desenvolver mecanismos adaptativos para tolerá-la (MORAES, 2011). Em ambientes áridos e semiáridos, os vegetais apresentam algumas adaptações morfológicas devido à restrição hídrica, tais como a redução da relação entre superfície e volume da folha, presença de ceras, estômatos protegidos, tecidos armazenadores de água, entre outros (ROTONDI et al., 2003; BARROS; SOARES, 2013). Tais características são fundamentais para permitir que as espécies possam suportar condições estressantes como longos períodos de seca e baixa disponibilidade hídrica.

A compressão das estratégias usadas pelas plantas para suportarem a seca é complexa, uma vez que suas respostas são dadas por interações com caracteres diferentes, como por exemplo: fisiológicos (redução na transpiração, fechamento dos estômatos, eficiência no uso de água), bioquímicos (acúmulo de solutos nas células) e morfológicos (desenvolvimento de sistema radicular eficiente, redução da área foliar) (MORAES, 2011).

Sob déficit hídrico, ocorre diminuição no conteúdo de água celular, resultando em menor pressão de turgor e decréscimo na expansão foliar e no crescimento das raízes (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo esses autores, a redução na expansão foliar se constitui na primeira linha de defesa das plantas à seca, uma vez que, com a área foliar reduzida, a planta tende a transpirar menos, conservando assim a água suprida pelo solo. Nesse contexto, Scalon et al. (2011) verificaram redução na área foliar de *Guazuma ulmifolia* Lam. sob condições reduzidas de disponibilidade hídrica.

Concomitantemente à redução na expansão foliar, ocorre aumento no crescimento das raízes, resultando maior proliferação das raízes nas regiões mais profundas do solo à medida que a água vai se esgotando nas camadas superiores (TAIZ; ZEIGER, 2013). No entanto, de acordo com Ranney, Whitlow e Bassuk, (1990), em locais onde os solos são rasos e superficiais o investimento em crescimento radicular contribui pouco para as espécies tolerarem às

condições de seca. Segundo esses autores, a manutenção da turgescência com o potencial hídrico baixo e o uso eficiente da água seriam estratégias particulares importantes para conferir às espécies a capacidade de tolerarem a seca.

A terceira linha de defesa das plantas contra o estresse hídrico, de acordo com Taiz e Zeiger (2013), seria o processo de abertura e fechamento dos estômatos. Isso ocorre em condições de estresse severo, ao passo que na primeira e na segunda linha, em condições de desidratação lenta. Sob condições de estresse hídrico moderado, a abertura dos estômatos é a máxima possível, porém, se o estresse persistir e elevar-se a níveis mais severos, ocorre o fechamento dos estômatos, o que se constitui em eficiente estratégia no controle da perda de água por transpiração (PIMENTA, 2013).

A adaptabilidade das plantas aos estresses abióticos é estratégia inerente a cada espécie vegetal (SCALON et al., 2011). Sendo assim, não existe um comportamento único utilizado por todas as espécies para suportar as situações de estresse impostas pelo meio, onde cada espécie pode modular suas respostas de acordo com o estresse sofrido e sua própria capacidade de resiliência. Dessa forma, as plantas que estão inseridas em ambiente áridos e semiáridos, onde a baixa disponibilidade hídrica e as altas temperaturas são frequentes, podem desenvolver de forma mais eficiente o ajustamento osmótico, controlando a perda de água e as trocas gasosas.

De modo geral, independente do ambiente, a transpiração frequentemente resulta em injúrias e estresse nas plantas sob condições de altas temperaturas e baixa umidade do solo e do ar (PIMENTEL, 2004). Ainda de acordo com o autor, não há como as plantas evitarem a perda de água pelo processo transpiratório sem afetar a entrada de dióxido de carbono pelos estômatos. Acrescenta ainda que a evolução de estruturas nas folhas favorece a adaptação das espécies para absorverem o máximo possível de dióxido de carbono e minimizarem as perdas de água para a atmosfera.

Para que a planta possa sobreviver e realizar as suas atividades metabólicas, é necessário um balanço hídrico positivo e uma relação equilibrada entre a absorção e a perda de água (LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013). Tais condições são obtidas por meio do funcionamento do aparato estomático, em que as plantas são capazes de modular as taxas de transpiração de acordo com as necessidades do seu balanço hídrico (LARCHER, 2006). Para Queiroz (2018), contrabalancear as taxas transpiratórias ocasionadas pela elevada demanda evaporativa condicionante pela atmosfera e o fornecimento de CO₂, necessário ao processo fotossintético, é um grande desafio enfrentado pelas plantas.

Nesse sentido, tanto para florestas, que já se encontram estabelecidas, como para a introdução de novas espécies em áreas a serem reflorestadas, os problemas com déficits hídricos se apresentam como um grande entrave, tendo em vista que a água é o soluto necessário para diversas ações fisiológicas nas plantas e que, na sua ausência, o crescimento é interrompido. Arriel et al. (2006) destacam que o sucesso de um plantio florestal depende da capacidade de as mudas sobreviverem às condições adversas após o plantio e, mesmo que a instalação tenha sido no período das chuvas, a possibilidade de períodos secos pode comprometer o estabelecimento e a sobrevivência das espécies.

A capacidade de as espécies tolerarem a seca pode ser avaliada com base no seu comportamento em relação a vários aspectos fisiológicos, associados à eficiência no uso da água e à partição de fotoassimilados (FERNANDES, 2012). A eficiência no uso da água (*EUA*) expressa a capacidade de as plantas administrarem as trocas de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ de forma que estas não se prejudiquem em situações de longos períodos de estresse hídrico, compensando a entrada de CO_2 devido às trocas gasosas e à perda de água pela transpiração (LARCHER, 2006).

Costa et al. (2015) estudaram as respostas fisiológicas de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão submetidas ao déficit hídrico crescente e posterior reidratação e verificaram redução progressiva na transpiração, condutância estomática, fotossíntese e eficiência no uso da água à medida que o período sem irrigação aumentava. Nessa mesma linha de investigação, Scalon et al. (2011) verificaram que o crescimento de *Guazuma ulmifolia* em altura, diâmetro e massa seca da parte aérea foi influenciado pela restrição na disponibilidade de água. Freire (2016) estudou a fisiologia de mudas de craibeira *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook, espécie nativa da caatinga, sob condições de estresse hídrico e verificou reduções na área foliar, taxa de transpiração, condutância estomática e na taxa de fotossíntese.

Em estudo sobre as relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de *Eucalipto* para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo, Tatagiba, Pezzopane e Reis (2008) verificaram que, sob deficiência hídrica, a taxa de fotossíntese, condutância estomática, transpiração, a eficiência no uso da água e o potencial hídrico foliar dos clones em estudo foram alterados. França et al. (2017) estudaram a análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess) submetidas ao déficit hídrico e verificaram que, sob déficit hídrico, as mudas diminuíram o potencial hídrico foliar, regularam a abertura estomática e apresentaram redução na fotossíntese e transpiração.

Klippel et al. (2014) avaliaram o impacto da deficiência hídrica no crescimento inicial de clones de eucalipto híbrido (*E. grandis* x *E. urophylla*) e constataram que as plantas submetidas à restrição hídrica sofreram redução em diâmetro, altura e área foliar. Mendes et al.

(2013) analisaram o comportamento de cinco genótipos de eucalipto em resposta à restrição hídrica e adubação potássica e verificaram que, sob déficit hídrico, as mudas apresentaram redução em características biométricas e fisiológicas, e que adição de potássio reduziu os efeitos do estresse hídrico nos cinco genótipos de eucalipto avaliados. A adubação potássica tem sido usada por alguns pesquisadores na tentativa de melhor compreender os seus reflexos na condução estomática e influência na produção de mudas de algumas espécies.

2.3 Mecanismo estomático sob condições de deficiência hídrica

A abertura e o fechamento dos estômatos são executados por um par de células denominadas células-guarda que circundam os poros, funcionando como uma válvula. A abertura é exercida pela absorção osmótica de água pelas células-guarda, promovendo elevação na turgescência destas e, conseqüentemente, a abertura dos estômatos (PIMENTA, 2013).

Diversos fatores ambientais podem influenciar o processo de abertura e fechamento dos estômatos, destacando-se os exógenos como ausência e presença de luz, concentrações de gás carbônico (CO_2), temperatura e a disponibilidade de água (H_2O) (MARENCO; LOPES, 2011) e os endógenos como nutrição e ação de hormônios vegetais (DODD, 2003). De acordo com Larcher (2006), apesar de os estômatos reagirem a diversas influências que podem controlar a sua abertura e fechamento, a H_2O e o CO_2 são os principais responsáveis pelo movimento estomático.

O fechamento dos estômatos é observado por muitos pesquisadores como uma estratégia fisiológica para reduzir as perdas de água por transpiração, controlar as trocas gasosas das plantas e assim evitar a morte por dessecação (CAMPELO et al., 2015). Em decorrência do fechamento estomático, alterações fisiológicas como redução na condutância estomática (g_s), queda na taxa de fotossíntese (A) e redução nas taxas de transpiração (E) são observadas como respostas aos estresses abióticos em diversas espécies (DOMBROSKI et al., 2011; RODRIGUES et al., 2011; SCALON et al., 2014).

Desta forma, compreender o que regula as propriedades osmóticas das células-guarda é fundamental para a compreensão de como se dá o processo de abertura e fechamento dos estômatos (KERBAUY, 2013) e as estratégias de adaptação moduladas por espécies vegetais em ambientes com limitações hídricas.

A osmorregulação que determina a abertura e o fechamento do complexo estomático foi creditada à entrada de íons K^+ , cloreto (Cl^-) e à síntese de malato²⁻, que são condicionados por respostas fisiológicas nas plantas (PIMENTA, 2013). Este autor acrescenta que, levando

em consideração que o movimento estomático é um processo que demanda gasto de energia, o fluxo de potássio para dentro das células se dá em função do gasto de ATP pela ativação de uma bomba de prótons H^+ -ATPase presente na membrana plasmática, que é ativada pela atividade fotossintética dos cloroplastos. Essa atividade H^+ -ATPase tem uma função primordial para criar o gradiente de cargas necessárias para a entrada do K^+ no citoplasma por canais especializados (PIMENTEL, 2004). E, de acordo com Kerbauy (2013), a hiperpolarização ocasionada por essa bomba de prótons pode ocasionar a abertura dos canais receptores desse íon.

Em decorrência desse fluxo e do acúmulo de K^+ (cargas positivas) nas células guardas, estas se tornam osmoticamente ativas, contribuindo para a absorção de água, aumento de turgescência e conseqüentemente abertura dos estômatos. O papel do cloreto (Cl^-) e do malato²⁻ seria realizar a neutralidade das cargas dentro das células-guarda, uma vez que esse balanceamento seria efetivado tanto pela entrada do Cl^- como também pela produção do malato²⁻ nas células guardas (KERBAUY, 2013). As características osmorreguladoras nas plantas indicam que o potássio pode ser o soluto responsável pela abertura dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Muitos estudos demonstram uma estreita relação entre o ajustamento osmótico e a tolerância ao estresse hídrico entre várias espécies, tais como em *Myracrodruon urundeuva* Allemão (COSTA et al., 2015); *Copaifera langsdorffii* Desf. (ROSA et al., 2018); *Cnidocolus quercifolius* Pohl (RAMOS; FREIRE, 2019b) e pesquisas mostram que o K^+ exerce um papel fundamental nesse ajustamento *Carya cathayensis* Sarg. (JIN et al., 2011); *Guazuma ulmifolia* Lam (SCALON et al., 2011); *Alseis blackiana* Hemsl. (PASQUINI; SANTIAGO, 2012); *Cnidocolus quercifolius* Pohl (RAMOS; FREIRE, 2019a).

2.4 Nutrição mineral e a tolerância à seca

O crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais dependem de fatores externos como a luz, o gás carbônico, sais minerais e especialmente a água (CORCIOLI; BORGES; JESUS, 2016; CUSTÓDIO et al., 2017). Esta exerce papel fundamental para desencadeamento do processo germinativo e manutenção do crescimento das plantas (KERBAUY, 2013; DUARTE et al., 2018) e se apresenta como um dos fatores mais limitantes, especialmente em regiões semiáridas (MATOS et al., 2017).

As plantas possuem capacidade de modular suas respostas em função da redução do suprimento de água e assim garantir a sua sobrevivência, no entanto essa interação solo-planta-

água é complexa e tem despertado o interesse de vários pesquisadores (HARTMANN et al 2013; ZHOU et al., 2014; CLARK et al., 2016; FEI et al., 2017; ZAHOOR et al., 2017; JOHNSON et al., 2018). Evidências sugerem que a nutrição mineral adequada exerce efeito positivo sobre o comportamento das espécies vegetais pelas inúmeras funções que os nutrientes realizam dentro das plantas, especificamente adubação potássica, a qual tem se tornado um aporte para amenizar os problemas ocasionados pela seca em espécies vegetais (WARAICH et al., 2011). Ainda de acordo com esse autor, o uso da irrigação se constitui de uma alternativa completa para o problema da seca. No entanto, é um complicador em regiões com escassez de água. Pensar apenas em irrigação como única alternativa para resolver os problemas da seca seria utópico, uma vez que a população está em constante crescimento, a demanda pelos recursos naturais é sempre intensiva, e as alterações ambientais são cada vez mais constantes. Dessa forma, a irrigação racional somada ao uso da adubação pode tornar-se uma boa estratégia para manejo dos recursos florestais.

O potássio (K^+) é um macronutriente catiônico exigido em grandes quantidades pela maioria das espécies vegetais e, por essas razões, este nutriente é o cátion mais abundante nas plantas (EREL et al., 2014; MALAVOLTA, 2006). É o terceiro elemento mais utilizado em fertilização no mundo, entre os anos de 2014 a 2018; a demanda mundial desse nutriente foi 34456 mil toneladas (FAO, 2018); para 2020, a demanda mundial para o consumo do K^+ está estimada em 37042 mil toneladas (FAO, 2019). Para algumas culturas agrícolas de importância para a economia brasileira, a exemplo da cana-de-açúcar, o K^+ se apresenta como o nutriente mais absorvido (OTTO; VITTI; LUZ, 2010). Os principais mecanismos de transporte do K^+ da solução do solo à superfície radicular das plantas são a difusão e o fluxo de massa. Dentro da planta, quase todo o K^+ presente se encontra na forma solúvel, o que explica a facilidade de mobilidade do nutriente e conseqüentemente a sua redistribuição pelos órgãos das plantas (MALAVOLTA, 2006).

Em espécies vegetais, o K^+ está relacionado a importantes processos fisiológicos como, por exemplo, a regulação osmótica e abertura e fechamento dos estômatos (MENDES et al., 2013). No processo de osmorregulação celular, o potássio exerce papel importante, uma vez que altas concentrações desse íon nas células-guarda reduz o potencial osmótico destas, o que resulta em uma absorção de água proveniente das células adjacentes e, conseqüentemente, a abertura dos estômatos ocorre devido ao aumento de turgor das células-guarda (MARENCO; LOPES, 2011). Dessa forma, nas trocas gasosas, o K^+ tem sido relatado como importante agente no ajustamento osmótico, interferindo diretamente no funcionamento dos estômatos (BATTIE-LACLAU et al., 2014)

O K^+ desempenha um papel importante como ativador enzimático, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, movimentação estomática, transferência de energia, balanço catiônico e resistência ao estresse (CAKMAK, 2005; MALAVOLTA, 2006; JIN et al., 2011; KERBAUY, 2013). A resposta das plantas à adubação potássica e os efeitos positivos do seu uso têm sido relatados em pesquisas no Brasil e em outros países (WANG et al., 2013; CRHISTINA et al., 2015; DIAS et al., 2019).

Um suprimento inadequado de potássio ocasiona irregularidade na abertura dos estômatos, promovendo menor taxa de assimilação de CO_2 , resultando em diminuição na taxa fotossintética (JIN et al., 2011; MALAVOLTA; VITT; OLIVEIRA, 1997; SILVEIRA, 2000), afetando diretamente o crescimento e o desenvolvimento da planta (ATAÍDE et al., 2018; KERBAUY, 2013). Plantas supridas com condições ideais desse nutriente apresentam maior capacidade de realizar o controle estomático e, por isso, esse nutriente tem sido correlacionado com a capacidade de as plantas resistirem a estresses (PASQUINI; SANTIAGO, 2012).

Apesar de não desempenhar função estrutural nas plantas, por não fazer parte de nenhum composto orgânico (SILVEIRA, 2000), o K^+ se apresenta como um importante ativador enzimático envolvido na ativação de cerca de 50 enzimas, com destaque para oxiredutases, desidrogenases, tranferases e aldolases (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Esse nutriente está relacionado à síntese de proteínas; conseqüentemente, plantas que apresentam teores reduzidos deste nutriente exibem acúmulo de compostos de baixo peso molecular como amidas, amins, aminoácidos e nitratos (SILVEIRA, 2000). Isso ocorre porque, na deficiência desse nutriente, a síntese de compostos de alto peso molecular como amido e proteína, por exemplo, é reduzida, enquanto que o acúmulo de compostos de baixo peso molecular como açúcares solúveis, ácidos orgânicos e aminoácidos é favorecido. O autor relata ainda que este acúmulo altera o equilíbrio osmótico das células, o que provoca um aumento na quantidade de exsudados liberados, favorecendo assim o desenvolvimento de pragas e doenças.

O K^+ está diretamente ligado a mecanismos de defesas nas plantas, uma vez que altas concentrações desse íon favorecem o acúmulo de compostos fenólicos que atuam como inibidores de insetos e fungos. Assim, sob deficiência severa desse nutriente, as plantas têm maior suscetibilidade a infecções fúngicas (ZORB; SENBAYRAM; PEITER, 2014).

A deficiência desse nutriente também ocasiona prejuízos na síntese da parede celular e na turgescência, o que predispõe as plantas à ação do vento e, conseqüentemente, ao tombamento (KERBAUY, 2013). Isso porque, sob condições de deficiência de K^+ , os tecidos

se apresentam menos rígidos, menor formação da parede celular, baixa lignificação e suberização e redução de tecidos esclerenquimáticos (SILVEIRA, 2000).

O K^+ tem sido relado em pesquisas por desempenhar papel chave na formação da madeira por causa de sua importância na expansão das células cambiais (FROMM, 2010). Recentemente, Ployet et al. (2019) mostraram que o *Eucalyptus grandis* é altamente dependente da fertilização potássica, com incremento na biomassa das plantas, e encontraram 18 novos fatores promissores para o controle da atividade cambial na espécie em resposta à fertilização potássica.

Mendes et al. (2013) verificaram alterações nos valores de taxa de assimilação líquida, condutância estomática, transpiração, potencial hídrico e no conteúdo relativo de água nas folhas de clones de eucalipto quando submetidos ao estresse hídrico, sendo esses efeitos amenizados pela adubação potássica.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. A.; DE ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117837020.pdf>.
- ALVES, P. M.; QUEIRÓZ, L. M. G.; PEREIRA, J. V.; PEREIRA, M. S. V. Atividade antimicrobiana, antiaderente, antifúngica in vitro de plantas medicinais brasileiras sobre microorganismos do biofilme dental e cepas do gênero *Cândida*. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 42, n. 2, p. 222-224, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rsbmt/v42n2/v42n2a28.pdf>
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife, PE: Projeto Dom Helder Camara, 2013. 200p. ISBN: 978-85-64154-04-9. Disponível em: http://www.cstr.ufcg.edu.br/ppgz/manejo_pastoril_sustentavel_caatinga.pdf.
- ARRIEL, E. F.; PAULA, R. C.; RODRIGUES, T. J. D.; BAKKE, O. A.; ARRIEL, N. H. C. Divergência genética entre progênies de *Cnidocolus phyllacanthus* submetidas a três regimes hídricos. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 229-237, 2006. Disponível em: <http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/viewFile/123/89>
- ATAÍDE, W.; NETO, C.; SILVA, N. K.; BRITO, A.; CARDOSO, K.; NOGUEIRA, G.; COSTA, T.; OLIVEIRA T.; MARTINS, J.; MACHADO, L. Crescimento e trocas gasosas de *Tachigali vulgaris* submetida à deficiência hídrica. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 191-200, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17231>
- AZEVÊDO, S. M. A.; BAKKE, I. A.; BAKKE, A. O.; FREIRE, A. L. O. Crescimento de plântulas de jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild) Poiret) em solos de áreas degradadas da caatinga. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 3, p. 150-160, 2012. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=2274&article=745&mode=pdf>
- BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A.; ANDRADE, A. P.; SALCEDO, I. H. Forage yield and quality of a dense thorny and thornless “jurema-preta” stand. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 341-347, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000300006>
- BARROS, I. O.; SOARES, A. A. Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro e velame da caatinga brasileira. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 192-198, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v44n1/a24v44n1.pdf>
- BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ, M. R. A.; ARENQUE, B. C.; PICCOLO, M. D. C.; JORDÂNIA-MEILLE, L.; BOUILLET, J. P.; NOUVELLON, Y. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 1, p. 70-81, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12131>
- BEZERRA, D. A. C.; RODRIGUES, F. F. G.; COSTA, J. G. M.; PEREIRA, A. V.; RODRIGUES, O.G.; SOUSA, E. O. Abordagem fitoquímica, composição bromatológica e atividade antibacteriana de *Mimosa tenuiflora* (Wild) Poiret e *Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke. **Acta Scientiarum. Biological Science**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 99-106, 2011. DOI: [10.4025/actascibiolsci.v33i1.5366](https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v33i1.5366)

BARBOSA, A. C. C. **Recuperação de áreas degradadas por mineração através da utilização de sementes e mudas de três espécies arbóreas do Cerrado no Distrito Federal**. 2008.88p. Dissertação – Faculdade de tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília.

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. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**, v.1. Colombo – PR, 2003, 1039p.

CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A.M.E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n.5, p.973-983, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1048060>.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, New York, v. 320, n. 5882, p. 1458–1460, 2008. DOI: 10.1126/1155365

CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; BATTIE-LACLAU, P.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J.-P.; JOURDAN, C.; GONÇALVES, J. L. M.; LACLAU, J. P. Measured and modeled interactive effects of potassium deficiency and water deficit on gross primary productivity and light-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Global Change Biology**, v. 21, n. 5, p. 2022-2039, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12817>

CLARK, J.; IVERSON, L.; WOODALL, C., W.; ALLEN, C. D.; BELL, D. M.; BRAGG, D. C.; D'AMATO, A. W.; DAVIS, F. W.; HERSH, M. H.; IBANEZ, I.; JACKSON, S.T; MATTHEWS, S.; PEDERSON, N.; PETERS, M.; SCHWARTZ, M. W.; WARING, K. M.; ZIMMERMANN, E. The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. **Global Change Biology**, v. 22, n. 7, p. 2329-2352, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13160>

CORCIOLI, G.; BORGES, J. D.; JESUS, R. P. Deficiência de macro e micronutrientes em mudas maduras de *Khaya ivorensis* estudadas em viveiro. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 1, p. 121-128, 2016. DOI: 10.1590/01047760201622012085.

COSTA, A. S.; FREIRE, A. L.O.; BAKKE, I.A.; PEREIRA, F. H.F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n4p705

CUSTÓDIO, I. C.; FELÍCIO, R.; NASCENTE, A. C. S.; SANTOS, P. G. F.; SILVEIRA, P. S.; MATOS, F. S. Análise de crescimento de plantas de *Eucalyptus urocan* sob déficit hídrico e doses de silício. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 8, n. 2, p. 28-36, 2017. DOI: 10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v8n2p28-36

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. D.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. D. A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of west indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 429-439, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n216rc>.

DODD, I. C. Hormonal Interactions and Stomatal Responses. **Journal of Plant Growth Regulators**. v. 22, n. 1, p. 32-46, 2003. DOI: 10.1007/s00344-003-0023-x.

DOMBROSKI J. L. D.; PRAXEDES S. C.; FREITAS R. M. O.; PONTES F. M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, v. 77, n. 2, p. 430-434, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.11.001>

DUARTE, M. M.; KRATZ, D.; CARVALHO, R. L. L.; NOGUEIRA, A. C. Influência do estresse hídrico na germinação de sementes e formação de plântulas de angico branco. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 3, p. 375-379, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v5i3.5521>.

EREL, L. R.; BEN-GAL, A. D. A. G. A.; SCHWARTZ, A.; YERMIYAHU, U. Sodium replacement of potassium in physiological processes of olive trees (var. Barnea) as affected by drought. **Tree Physiology**, v. 34, n. 10, p. 1102-1117, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu081>

FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations). **Current world fertilizer trends and outlook to 2018**. FAO, Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4324e.pdf/>

FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations) (2019): **FAOStat Database**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>.

FERNANDES, E. T. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2012. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, 2012. Disponível em: <http://livrozilla.com/doc/773268/fotoss%C3%ADntese-e-crescimento-inicial-de-clones-de-eucalipto>.

FRANÇA, P. H. T.; SILVA, E. C. A.; SILVA, T. C.; BRASIL, N. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*calophyllum brasiliense cambess*) submetidas ao déficit hídrico. **Agropecuária científica no semiárido**, Patos, v. 13, n. 4, p. 264-269, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v13i4.886>

FRANCHITO, S. H.; FERNANDEZ, J. P. R.; PAREJA, D. Surrogate climate change scenario and projections with a regional climate model: impact on the aridity in South America. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 474-489, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35041>

FEI, S.; DESPREZ, J. M.; POTTER, K. M.; JO, I.; KNOTT, J. A.; OSWALT, C. M. Divergence of species responses to climate change. **Science Advances**, v. 3, n. 5, p. e1603055, 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1603055

FREIRE, F. C. J. **Características fisiológicas de mudas de craibeira sob condições de deficiência hídrica**. 2016. 64f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas – Rio Largo, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1340>

FROMM, J. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. **Tree Physiology** v. 30, n. 9, p. 1140-1147, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq024>

HARTMANN, H.; ZIEGLER, W.; KOLLE, O.; TRUMBORE, S. Thirst beats hunger—declining hydration during drought prevents carbon starvation in Norway spruce saplings. **New Phytologist**, v. 200, n. 2, p. 340-349, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12331>

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. *In: Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação* (SILVA, J. D.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.D.; LINS, L.V. org.)

Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 48-90. 2004. Disponível em:
https://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/parte2caa.pdf.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

JESUS, J. B.; FERREIRA, R. A.; GAMA, D. C.; GOES, J. H. A. Estabelecimento de Espécies Florestais Nativas Via Semeadura Direta no Rio Piauitinga-Sergipe. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, p. e20150288, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.028815>

JIN, S. H.; HUANG, J. Q.; LI, X. Q.; ZHENG, B. S.; WU, J. S.; WANG, Z. J.; LIU, G. H.; CHEN, M. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. **Tree Physiology**, v. 31, n. 10, p. 1142-1151, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr095>

JOHNSON, D. M.; DOMEK, J. C.; BERRY, C. Z.; SCHWANTES, A. M.; WOODRUFF, D. F.; MCCULLOH, K. A.; POLLEY, WORTEMANN, R.; SWENSON, J. J.; MACKAY, D. S.; MCDOWELL, N., G.; JACKSON, R., B. Co-occurring woody species have diverse hydraulic strategies and mortality rates during an extreme drought. **Plant, Cell & Environment**, v. 41, n. 3, p. 576-588, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13121>

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2013.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; TOLEDO, J. V. Impacto da deficiência hídrica no crescimento inicial de eucalipto. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 23, n. 1, p.48-59, 2014. Disponível em:
http://www.faeef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/Kkge413bQR5T234_2014-6-13-14-22-19.pdf

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos. Editora Rima, 2006.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. São Paulo: Plantarum, v.1. 368p, 1992.

LUCENA, R. F.; FARIAS, D. C.; CARVALHO, T. K. N.; LUCENA, C. M.; VASCONCELOS NETO, C. F. A.; ALBUQUERQUE, U. P. Uso e conhecimento da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) por comunidades tradicionais no Semiárido brasileiro.

Sitientibus Série Ciências Biológicas, Feira de Santana, v. 11, n. 2, p.255-264, 2011.

Disponível em:

<http://periodicos.uefs.br/index.php/sitientibusBiologia/article/viewFile/109/146>

MAIA, G. N. **Caatinga** - árvores e arbustos e suas utilidades. São Paulo D&Z Computação Gráfica e Editora. p.237-246, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potássia e do Fosfato, 1997. 319p.

MARENCO R. A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3ed. Editora UFV, Viçosa. 486p, 2011.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil – past, present, and future. **Theoretical Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017. DOI: 10.1007/s00704-016-1840-8

MARMITT, D. J.; REMPEL C.; GOETTERT, M. I.; SILVA, A. C. Plantas medicinais da RENISUS com potencial anti-inflamatório: Revisão sistemática em três bases de dados científicas. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 129-143, 2015. DOI: 10.5935/2446-4775.20150011

MATOS, F. S., TORRES JUNIOR, H. D.; ROSÁRIO, R. V.; SANTOS, P. G. F.; BORGES, L. O.; RIBEIRO, R. P.; CRUVINEL, C. K. L. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 19-27, 2017. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/434/116>.

MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**, Lavras, v.19, n. 4, p.603- 611, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000400003>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. **Instrução Normativa Nº 06, de 23 de setembro de 2008**. Ministério de Meio Ambiente. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/recursosflorestais/documentos/lista-oficial-de-especies-brasileirasameacas-de-extincao/> Acesso em: 06 junho de 2018.

MONTEIRO, J. M.; NETO, E. M. F. L.; AMORIM, E. L. C.; STRATTMANN, R.R.; ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P. Teor de taninos em três espécies medicinais arbóreas simpátricas da caatinga. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 999-1005, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000600020>

MORAES, J. V. **Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação**. 2011. 72f. Tese – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102832>

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica; Subsídios a geografia regional do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 3-51, 1972.

NOGUEIRA, N. W.; MARTINS, H. V. G.; BATISTA, D. S.; RIBEIRO, M. C. C.; BENEDITO, C. P. Grau de dormência das sementes de jucá em função da posição na vagem. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 5, n. 1, p. 39-42, 2010. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/242/242>

OLIVEIRA, A. F; BATISTA, J. S.; PAIVA, E. S.; SILVA, A. E.; FARIAS, Y. J. M. D.; DAMASCENO, C. A. R.; BRITO, P. D.; QUEIROZ, S.A.C.; RODRIGUES, C.M.F.; FREITAS, C.I.A. Avaliação da atividade cicatrizante do jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *ferrea*) em lesões cutâneas de caprinos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2010. Disponível em: http://www.sbpmed.org.br/download/issn_10_3/07_08_14.pdf

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1137-1146, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>

- PASQUINI, S. C.; SANTIAGO, L. S. Nutrients limit photosynthesis in seedlings of a lowland tropical forest tree species. **Oecologia**, v. 168, n. 2, p. 311-319, 2012. DOI: 10.1007/s00442-011-2099-5
- PELTIER, D. M. P.; IBÁÑEZ, I. Patterns and variability in seedling carbon assimilation: implications for tree recruitment under climate change. **Tree Physiology**, v. 35, n. 1, p. 71-85, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu103>
- PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D.; BARBOSA, A. S.; BARBOSA, F. M. Espécies da Caatinga como alternativa para o desenvolvimento de novos fitofarmacos. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 509-520, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.024212>
- PIMENTA, J. A. Relações Hídricas. In: KERBAUY, G. B. (Orgs). **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan, p.02 -32, 2013.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com água**. EDUR - Editora Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004. 190 p.
- PLOYET, R.; LABATE, M. T.; CATALDI, T. R.; CHRISTINA, M.; MOREL, M.; CLEMENTE, H. S.; DENIS, M.; FAVREAU, B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LACLAU, J. P.; LABATE, C. A.; CHAIX, G.; GRIMA-PETTENATI, J.; MOUNET, F. A systems biology view of wood formation in *Eucalyptus grandis* trees submitted to different potassium and water regimes. **New Phytologist**, v. 223, n. 2, p. 766-782, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15802>
- PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. p. 3-73, 2003 Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. Disponível em: http://www.sebecologia.org.br/viiceb/resumos_professores/Conferidos/PDF/Leal%20et%20al.pdf.
- QUEIROZ, J. C. P. **Respostas ecofisiológicas e bioquímicas do Pajeú (*Triplaris gardneriana* Wedd.) submetido ao déficit hídrico**. 2018. 99 f. Dissertação. (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/8005>.
- RAMOS, F. R.; FREIRE, A. L. O. Growth and gas exchange of *Cnidoscolus quercifolius* fertilized with potassium and under water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 11, p. 23-29, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n11p23>
- RAMOS, F. R.; FREIRE, A. L. O. Physiological responses of *Cnidoscolus quercifolius* Pohl in semi-arid conditions. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 493-499, 2019b. DOI: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i1.5735>
- RANNEY, T. G.; WHITLOW, T. H.; BASSUK, N. L. Response of five temperate deciduous tree species to water stress. **Tree Physiology**, v. 6, n. 4, p. 439-448, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/6.4.439>
- RIBEIRO, D. A. I.; MACÊDO, D. G. I.; OLIVEIRA, L. G. S. I.; SARAIVA M. E. I.; OLIVEIRA, S.F.I.; SOUZA, M. M. A. I.; MENEZES, I. R. A. Potencial terapêutico e uso de plantas medicinais em uma área de Caatinga no estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 16, n. 4, p.912-930, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/13_059
- RODRIGUES, B. M.; ARCOVERDE, G. B.; ANTONINO, A. C. D.; SANTOS, M. G. Water relations in physic nut according to climatic seasonality, in semiarid conditions. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1113 -1115, 2011. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900020>

ROQUE, A. A.; LOIOLA, M. I. B. Potencial de uso dos recursos vegetais em uma comunidade rural no Semiárido Potiguar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 4, p.88-98, 2013. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/2371/237129900011/>.

ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S. D. P. Q.; CREMON, T.; DRESCH, D. M. Gas exchanges and antioxidant activity in *Copaifera langsdorffii* Desf. seedlings after flooding. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 5, p. 979-994, 2018. DOI:
<https://doi.org/10.4236/ajps.2018.95075>

ROTONDI, A.; ROSSI, F.; ASUNIS, C.; CESARACCIO, C. Leaf xeromorphic adaptations of some plants of a coastal Mediterranean macchia ecosystem. **Journal Mediterran Ecology**, v. 4, n. 3-4, p. 25-35, 2003. Disponível em: <http://www.jmecology.com/wp-content/uploads/2014/03/04rotondi.pdf>.

SAMPAIO, F. C., MARIA DO SOCORRO, V. P.; DIAS, C. S.; COSTA, V. C. O.; CONDE, N. C.; BUZALAF, M. A. In vitro antimicrobial activity of *Caesalpinia ferrea* Martius fruits against oral pathogens. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 124, n. 2, p. 289-294, 2009. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.04.034>

SILVEIRA, R. L. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. 2000. 169f. Tese. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000. Disponível em:<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/silveira,rlva.pdf>.

SCALON, S. P.; JEROMINI, T. S.; MUSSURY, R. M.; DRESCH, D. M. Photosynthetic metabolism and quality of *Eugenia pyriformis* Cambess. seedlings on substrate function and water levels. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 4, p. 2039-2048, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201420130249>

SCALON, S. P. Q.; MUSSUY, R. M.; EUZEBIO, V. L. M.; KODAMA, F.M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011. DOI:
<http://dx.doi.org/10.5902/198050984510>

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p.387-400, 2008. DOI:
<http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v38i2.11633>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed.- Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

VITORIO, L. A. P. **Densidade da madeira de espécies da Caatinga**. 2013. 21 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2013. Disponível em:
<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2699/1/PDF%20-%20Leonardo%20Alves%20Porto%20Vit%C3%B3rio.pdf>

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Science**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013. DOI:
<https://doi.org/10.3390/ijms14047370>

WARAICH, E. A.; AHMAD, R.; SAIFULLAH, M. Y.; ASHRA, F.; EHSANULLAH. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. **Australian Journal of Crop**

Science, v. 5, n. 6, p. 764- 777, 2011. Disponível em:

<https://search.informit.com.au/documentSummary;dn=282340708899391;res=IELHSS>.

WMO, 2019: **Statement on the State of the Global Climate in 2018**. Geneva, Switzerland.

World Meteorological Organization, 2019. 44p. ISBN 978-92-63-11233-0. Disponível em:

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789

ZAHOOR, R.; DONG, H.; ABID, M.; ZHAO, W.; WANG, Y.; ZHOU, Z. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 73-83, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.002>

ZHOU, S.; MEDLYN, B.; SABATÉ, S.; SPERLICH, D.; PRENTICE, I. C. WHITEHEAD, D. Short-term water stress impacts on stomatal, mesophyll and biochemical limitations to photosynthesis differ consistently among tree species from contrasting climates. **Tree Physiology**, v. 34, n. 10, p. 1035-1046, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu072>

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture: status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>

CAPÍTULO I – TROCAS GASOSAS E ACÚMULO DE SOLUTOS ORGÂNICOS EM MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA CAATINGA EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA E DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Trocas gasosas e acúmulo de solutos orgânicos em mudas de espécies arbóreas da caatinga em função de níveis de água e da adubação potássica.

RESUMO

Este estudo teve como objetivos avaliar os efeitos da disponibilidade de água e adubação potássica em aspectos fisiológicos e bioquímicos de plantas jovens de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem), jucá (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul) e jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 3 x 3, correspondendo a três doses de potássio [0, 97,5 e 195 mg dm⁻³ K] e três níveis de água [100%cv (controle), 50%cv (déficit moderado) e 25%cv (déficit severo)]. As plantas foram mantidas em sacos plásticos contendo 5 kg de substrato. Foram avaliados teor relativo de água (TRA), taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa fotossintética (A), a eficiência instantânea no uso da água (EUAi) e as concentrações foliares de açúcares totais, aminoácidos solúveis totais e proteínas. O déficit hídrico promoveu redução progressiva na taxa de transpiração, condutância estomática, taxa fotossintética e na eficiência instantânea no uso da água nas três espécies estudadas, sendo que a magnitude das respostas variou com a espécie e a época de avaliação. O fornecimento de 195 mg dm⁻³ K influenciou positivamente as trocas gasosas das espécies estudadas quando a disponibilidade hídrica foi reduzida. Ocorreu acúmulo de solutos osmoticamente ativos (aminoácidos e açúcares solúveis) nas espécies aroeira e jucá à proporção que o déficit hídrico aumentou.

Palavras-chave: tolerância à seca, nutrição mineral, déficit hídrico.

Gas exchanges and organics solutes accumulation in seedlings of tree species of Caatinga submitted to of water levels and potassium

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of water availability on physiological and biochemical aspects of young plants of *Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem., *Libidibia ferrea* (Mart. Ex Tul) and *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret, as well as to analyze the role of K in mitigating these effects. The experiment was conducted in a completely randomized design (DIC), factorial scheme 3x3, corresponding to three potassium doses [0, 97.5 and 195 mg dm⁻³ K] and three water levels [100%cv (control), 50%cv (moderate deficit) and 25%cv (severe deficit)], with potassium chloride (KCl) as the nutrient source. Plants were kept in plastic bags (28cm x 15cm) containing 5kg of substrate. Relative water content (RWC), transpiration rate (E), stomatal conductance (gs), photosynthetic rate (A), water use efficiency intrinsic (WUEi) and leaf concentrations of total sugars, total soluble amino acids and proteins. The water deficit promoted a progressive reduction in the rate of transpiration, stomatal conductance, photosynthetic rate and in the instant efficiency in the use of water in the three species studied, with the magnitude of the responses varying with the species and the time of evaluation. The supply of 195 mg dm⁻³ K positively influenced the gas exchange of the studied species when water availability reduced. There was an accumulation of osmotically active solutes (amino acids and soluble sugars) in the *M. urundeuva* and *L. ferrea* as the water deficit increased.

Keywords: drought tolerance, gas exchange, water stress, potassium.

1 INTRODUÇÃO

Especialistas têm afirmado que as taxas de aquecimento e as mudanças climáticas provavelmente aumentarão nos próximos anos, prevendo elevação na temperatura global, acarretando aumentos nos períodos e ciclos de seca (IPCC, 2014). Essas alterações climáticas têm sido o foco de muitas pesquisas (FU et al., 2013; SILVA, et., al 2017; ZEMP et al., 2017; CIEMER et al., 2019), e tais mudanças poderão resultar em respostas diferentes para cada grupo de espécie vegetal.

Na região semiárida brasileira, os problemas relacionados à limitação dos recursos hídricos são uma constante em virtude da precipitação reduzida, elevadas taxas de transpiração e longos períodos de seca (ARAÚJO, 2011). Além disso, a predominância de solos pouco desenvolvidos, pedregosos e com baixa capacidade de retenção de água (ALVES, ARAÚJO, NASCIMENTO, 2009; ARAÚJO, 2011), e, em alguns casos, compactados pelo pisoteio de animais constitui mais um desafio para o crescimento das plantas. A soma desses fatores dificulta o crescimento e o estabelecimento das espécies florestais em projetos ou ações de recomposição florestal e recuperação de áreas degradadas, contribuindo para o agravamento dos problemas ambientais.

A água é o fator mais limitante para a produtividade vegetal por ser essencial à manutenção da turgescência e alongamento celular, ao transporte de substâncias na planta, às trocas gasosas entre as folhas e o meio externo, além de outros processos metabólicos celulares, principalmente durante o período inicial de crescimento (SOUZA; SOARES; REGINA, 2001; KERBAUY, 2013; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Sob o ponto de vista fisiológico, as plantas apresentam mecanismos que controlam a perda de água em situações de restrição hídrica, a exemplo do fechamento dos estômatos (REICH, 2014), como estratégia de sobrevivência. O fechamento parcial dos estômatos visa diminuir a taxa de transpiração, manter o equilíbrio hídrico foliar e evitar a morte dos tecidos por desidratação (PEAK et al., 2004), no entanto limita a assimilação de CO₂, reduzindo a taxa fotossintética das plantas (PEEVA; CORNIC, 2009; HU; WANG; HUANG, 2010) podendo levar à morte. Esse mecanismo de controle estomático tem sido relatado em diversas pesquisas (CAKMAK, 2005; JIN et al., 2011; MENDES et al 2013; WANG et al., 2013; SHABALA; POTOSSIN, 2014) e está associado à entrada de íons de potássio (K⁺) nas células-guarda (MARENCO; LOPES, 2011). O acúmulo desses íons promove alterações no potencial osmótico das células, levando à absorção de água e, conseqüentemente, alterações na pressão

de turgescência, resultando na abertura dos estômatos (SILVEIRA, 2000; MENDES et al., 2013).

Além do acúmulo de íons como K^+ , as plantas conseguem realizar o regulamento osmótico através do acúmulo de solutos como açúcar (COSTA et al., 2015), aminoácidos (OLIVEIRA et al., 2017) e proteínas (SILVA, 2011). Esse mecanismo tem sido frequentemente destacado por ser uma estratégia eficiente desenvolvida pelas plantas para suportar os efeitos da redução de água. Esse acúmulo de solutos visa diminuir o potencial hídrico dos estômatos e assim ocasionar a absorção de água de células adjacentes (KERBAUY, 2013). Uma vez que esse processo é desencadeado, a planta mantém a turgescência celular necessária para que os estômatos se mantenham abertos e realizem os seus processos fisiológicos mesmo em situações em que a disponibilidade de água se encontre reduzida.

Para que sejam minimizados os efeitos da deficiência hídrica nas plantas, principalmente em razão do cenário atual global, é necessário que estratégias sejam adotadas, visando aumentar a tolerância das plantas a essa condição adversa. Uma das alternativas é o uso do potássio (K^+) na nutrição das plantas e o papel desse íon na resistência das plantas ao déficit hídrico, o que já conhecido há bastante tempo (MARTINEAU et al., 2017a). Embora estudos já tenham apontado os efeitos da adubação potássica na aclimatização à seca, a maioria destes foi desenvolvido com espécies agrícolas, e pesquisas com esse escopo em espécies florestais ainda são incipientes e são, em sua maioria, relatadas principalmente para espécies do gênero *Eucalyptus* (SILVEIRA, 2000; MENDES et al., 2013; CHRISTINA et al., 2015; FRANCO, 2018).

Os estudos sobre o efeito do déficit hídrico nas respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas da Caatinga são limitados e inexistentes comparando espécies pertencentes a diferentes grupos sucessionais e àqueles desenvolvidos, visando avaliar a contribuição do K^+ na atenuação desses efeitos. Dessa forma, este estudo teve como objetivos avaliar os efeitos da disponibilidade de água em aspectos fisiológicos e bioquímicos de plantas jovens de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem), jucá (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul) e jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret) e analisar o papel do K^+ na mitigação desses efeitos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e condução do experimento

O experimento foi conduzido à casa de vegetação no Viveiro Florestal da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal e analisado no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Centro

de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *Campus* de Patos, coordenadas geográficas 7°03'34" S e 37°16'30" O.

As sementes de aroeira, jucá e jurema-preta foram obtidas de plantas mantidas no *Campus* da UFCG/Patos. Para obtenção das mudas, inicialmente as sementes de jurema-preta e jucá foram submetidas ao processo de superação de dormência. A quebra da dormência tegumentar das sementes de jurema-preta foi realizada através da imersão em água quente (85°C) por 30 segundos e posterior lavagem em água corrente por um minuto (BAKKE et al., 2006). Para a superação de dormência nas sementes de jucá, estas foram imersas em ácido sulfúrico concentrado durante 30 minutos. Decorrido esse tempo, as sementes foram lavadas com água destilada por três vezes consecutivas durante dois minutos para a retirada do excesso de ácido.

As sementes foram colocadas para germinar em sacos plásticos pretos (28cm x 15cm) contendo 5 kg de substrato (terra de sub-solo 0 a 20 cm) com as seguintes características químicas: pH (H₂O) 6,5; P 2,9 mg/kg; Ca 5,0 cmol_c/dm³; Mg 2,0 cmol_c/dm³; K 4,6 cmol_c/dm³; H+Al 0,22 cmol_c/dm³; e T 94,1 cmol_c/dm³. Procedeu-se a adubação com N e P segundo recomendação de Furtini Neto et al. (1999), enquanto o fornecimento de K foi realizado de acordo com os tratamentos testados.

Aos 15 dias, após a emergência (DAE), realizou-se o desbaste, o que deixou a planta mais vigorosa. A irrigação foi realizada uma vez por dia, procurando-se manter a umidade do substrato próximo a 100%cv (capacidade de retenção do substrato ou capacidade de vaso), determinada através da pesagem. Para isso, cinco recipientes contendo o substrato supracitado foram submersos em balde com água até que fosse notado o encharcamento. Em seguida, foram retirados para a completa lixiviação e depois submetidos à pesagem. O valor obtido corresponde a 100%cv e, baseado nele, foram determinados os níveis de água avaliados.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 3 x 3, correspondendo a três doses de potássio [0, 97,5 e 195 mg dm⁻³ K] e três níveis de água [100%cv (controle), 50%cv (déficit moderado) e 25%cv (déficit severo)], tendo como fonte do nutriente o cloreto de potássio (KCl), com quatro repetições e duas plantas por parcela. Os regimes hídricos tiveram início aos 30 dias após o desbaste (45 DAE).

2.3 Parâmetros avaliados

a) Parâmetros estomáticos: aos 30 e 60 dias após o início dos regimes hídricos, usando-se o analisador portátil de fotossíntese LCpro-SD (ADC BioScientific Ltd.), foram medidas a taxa de transpiração (E), a condutância estomática (g_s) e a taxa de fotossíntese (A). Essas leituras foram realizadas em folhas completamente expandidas inseridas no segundo nó a partir do ápice das plantas, entre 10:00 e 11:00 horas da manhã. A Eficiência instantânea no uso da água (EUA_i) foi obtida pela razão A/g_s . A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) do equipamento foi ajustada para $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

b) Teor relativo de água (TRA): após as avaliações estomáticas, quatro folhas por repetição foram colhidas e levadas ao laboratório, submetidas à pesagem para a determinação do peso da matéria fresca (MF). Em seguida, foram imersas em água e, sob folha de papel de filtro, colocadas em placas de Petri e mantidas em geladeira (5°C) por 72 horas. Decorrido esse período, foram retiradas, secas em papel absorvente e pesadas para a obtenção do peso da matéria túrgida (MT). Posteriormente, foram secadas em estufa a 65°C durante 72 horas e submetidas à pesagem para a determinação do peso da matéria seca (MS). O TRA foi calculado de acordo com a equação 1.

$$TRA = \frac{MF-MS}{MT-MS} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

c) Concentrações de açúcares solúveis totais, proteínas e aminoácidos: ao final do experimento (60 dias após o início dos regimes hídricos), 200 mg de folhas foram maceradas em 12 mL de MCA (metanol:clorofórmio:água, proporção 12:5:3) para a determinação das concentrações dos solutos orgânicos, segundo Bialeski & Turner (1966). As análises das concentrações foliares de açúcares solúveis totais, proteínas e aminoácidos livres totais foram realizadas de acordo com metodologias propostas, respectivamente, por Yemm & Willis (1954), Bradford (1976) e Yemm & Cocking (1955).

2.4 Análise estatística

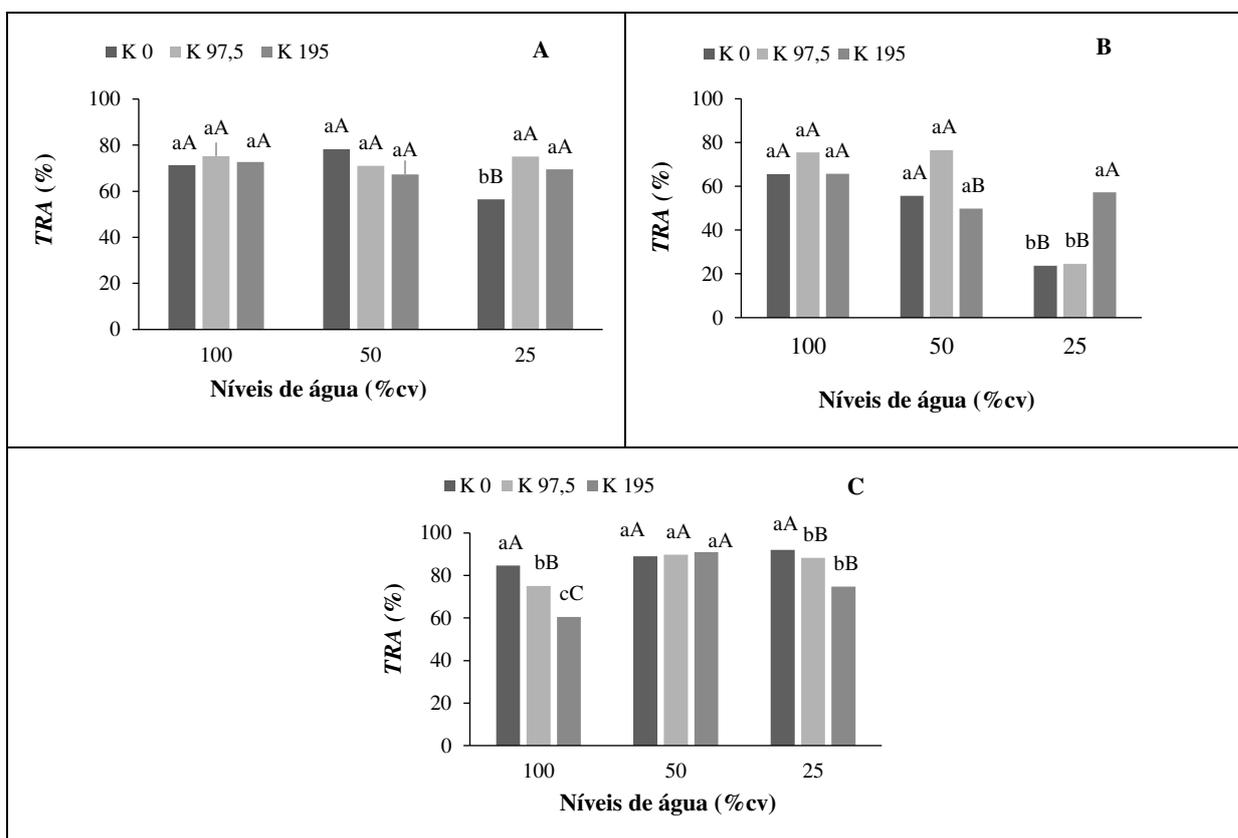
Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS

3.1 Teor relativo de água (*TRA*)

De acordo com a análise estatística, houve efeito significativo da interação dos fatores estudados sobre o *TRA* nas plantas de aroeira aos 30 e 60 dias após o início dos regimes hídricos e nas plantas de jurema-preta aos 30 dias. Em relação às plantas de jucá, houve efeito significativo dos regimes hídricos e adubação potássica, isoladamente, aos 30 dias.

Comparando-se os tratamentos das que receberam adubação potássica, aos 30 dias, percebe-se que não houve diferença estatística no *TRA* das plantas de aroeira quando mantidas a 100% e 50%cv (Figura 1A). Além disso, nas plantas a 25%cv, o menor *TRA* foi obtido nas plantas que não receberam adubação potássica.



Letras maiúsculas comparam as doses de K, dentro de cada regime hídrico; letras minúsculas comparam os regimes hídricos, em cada dose de K.

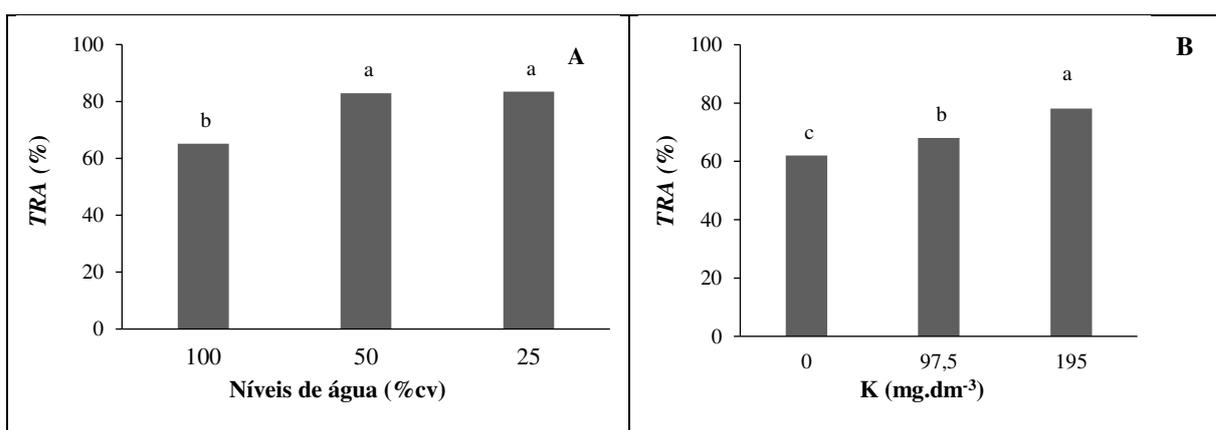
Figura 1. Teor relativo de água (*TRA*) de plantas de aroeira, aos 30 (A) e 60 dias (B), e de jurema-preta aos 30 dias (C) em função dos níveis de água e da adubação potássica.

No entanto, aos 60 dias (Figura 1B), não houve diferença significativa entre os tratamentos de adubação nas plantas de aroeira mantidas a 100%cv. No tratamento 50%cv, as

plantas que receberam 195 mg/dm^3 de K apresentaram *TRA* inferior aos demais tratamentos de adubação potássica. Contrariamente a 25%cv, o fornecimento dessa quantidade de K às plantas de aroeira proporcionou a manutenção de *TRA* superior aos demais níveis desse nutriente, evidenciando o seu efeito positivo nas plantas, quando sob baixa disponibilidade de água.

Em jurema-preta, aos 30 dias, não houve diferença estatística entre as doses de K a 50%cv. No entanto, nas plantas mantidas a 100 e 25%cv, o *TRA* decresceu à medida que a dose de K fornecida aumentou (Figura 1C).

Quanto às plantas de jucá, aos 30 dias (Figura 2A), houve aumento no *TRA* das plantas à medida que a quantidade de água fornecida diminuía, sendo que o menor valor foi detectado nas plantas a 100%cv, não havendo diferença estatística entre os tratamentos 50% e 25%cv. Elevação na quantidade de K adicionada ao solo proporcionou aumento de 21% no *TRA*, aos 30 dias (Figura 2B).

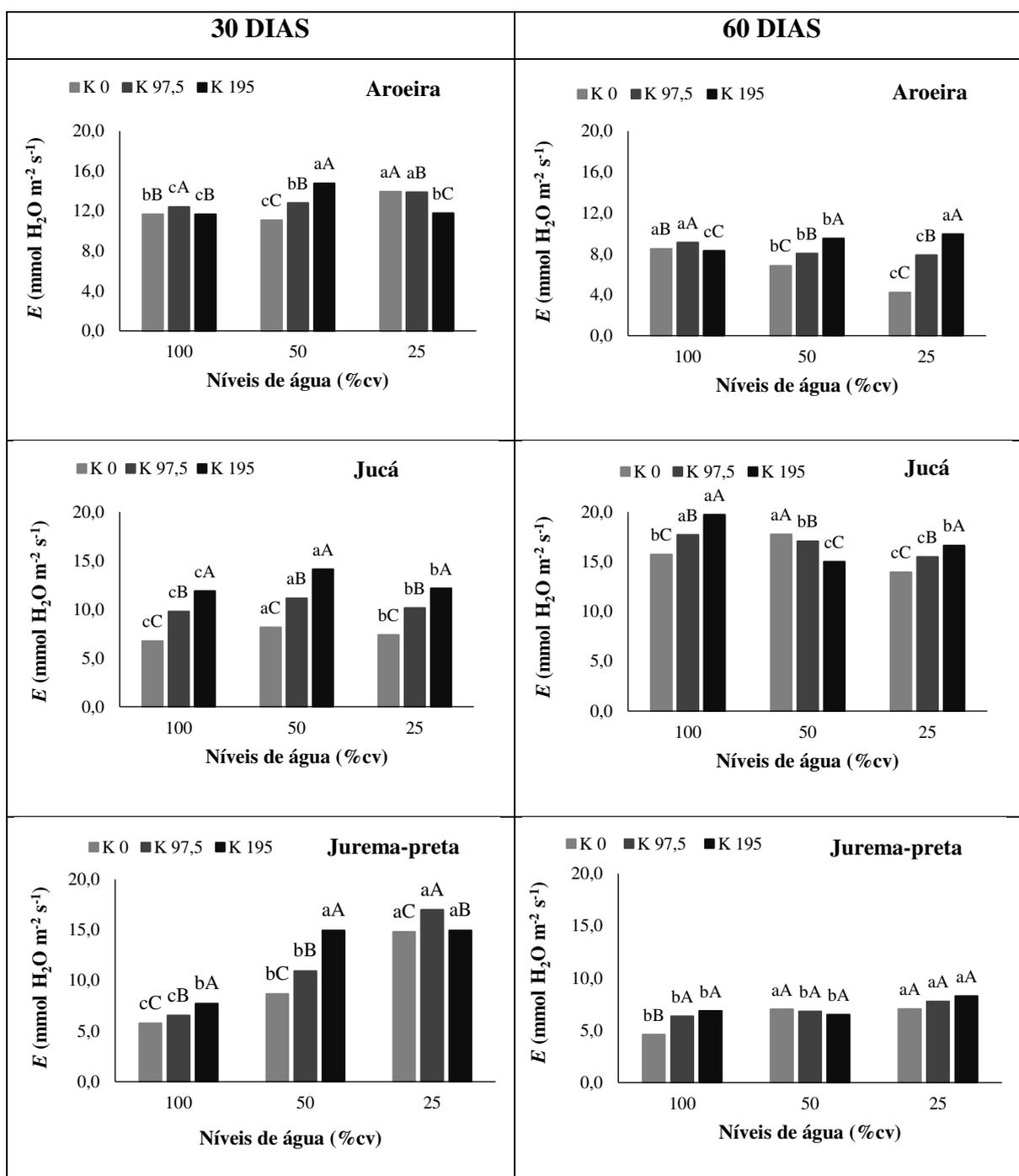


Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Figura 2. Teor relativo de água (*TRA*) de plantas de jucá, aos 30 dias, em função dos níveis de água (A) e da adubação potássica (B).

3.2 Comportamento estomático

A taxa de transpiração (*E*) em aroeira, aos 30 dias, aumentou à proporção que a quantidade de água fornecida diminuiu (Figura 3), com influência positiva da adubação potássica. Analisando as plantas que não receberam K, os valores de *E* passaram de $11,7 \mu\text{mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (100%cv) para $14 \mu\text{mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (25%cv), equivalendo a 20% de aumento. Ao adicionar 195 mg/dm^3 K, nas plantas mantidas a 50%cv, houve acréscimo de 33%, passando de $11,1 \mu\text{mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (0 mg dm^{-3} K) para $14,8 \mu\text{mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (195 mg dm^{-3} K).



Letras maiúsculas comparam as doses de K, dentro de cada regime hídrico; letras minúsculas comparam os regimes hídricos, em cada dose de K.

Figura 3. Taxa de transpiração (E) das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica.

Em jucá e jurema-preta, também aos 30 dias, as diferenças nos valores de E se tornaram mais evidentes (Figura 3). Em jucá, as plantas mantidas a 50%cv apresentaram a maior taxa de transpiração em relação aos outros regimes hídricos. Em relação à adubação potássica, dentro

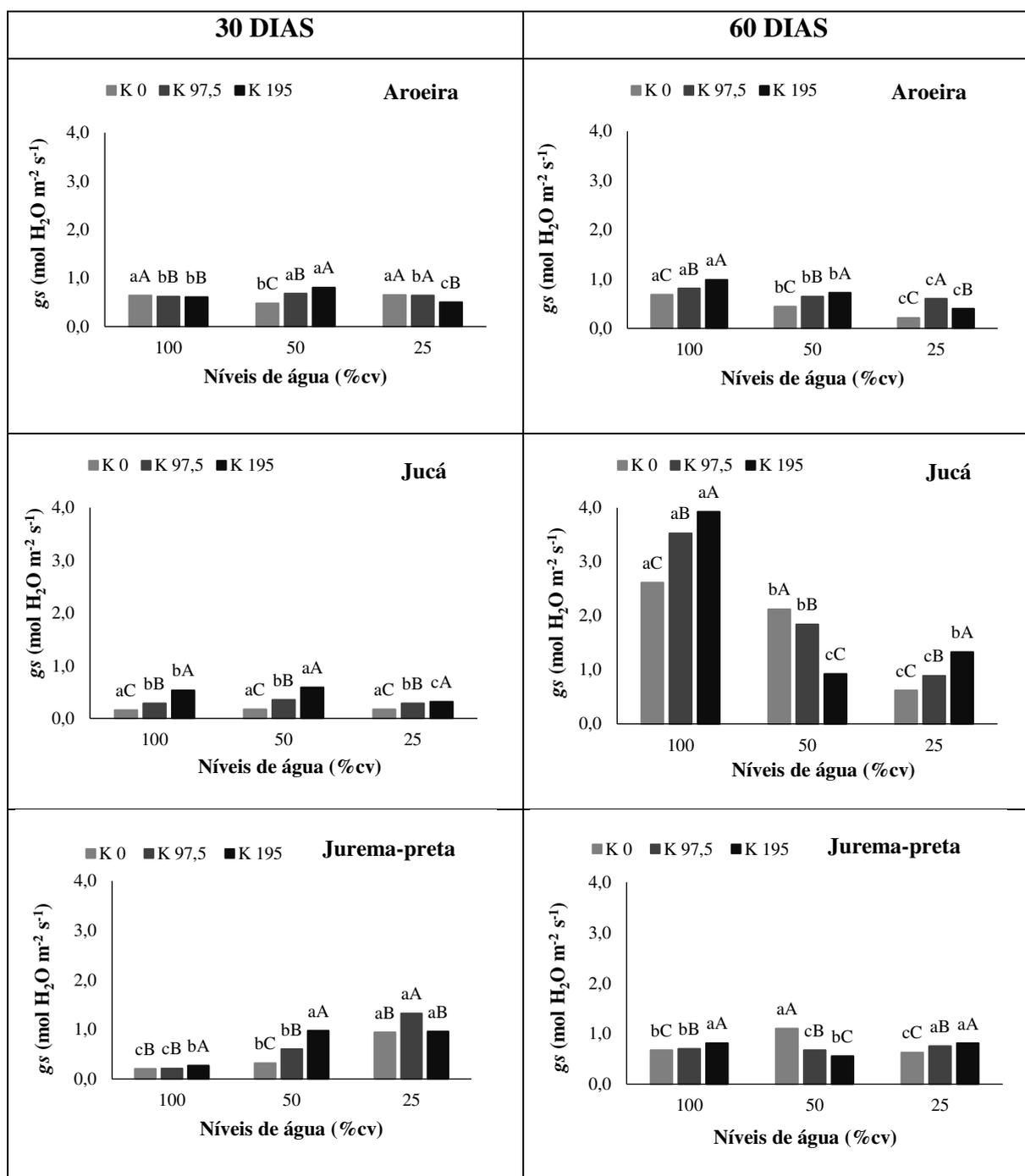
do regime hídrico, à medida que se elevou a dose de K, ocorreu aumento na transpiração das plantas, correspondendo a 76% (100%cv), 73% (50%cv) e 64% (25%cv), quando se compararam os tratamentos 0 e 195 mg/dm⁻³ K. Nas plantas de jurema-preta, ocorreu aumento progressivo à medida que a disponibilidade de água diminuiu em todos tratamentos de adubação. O efeito positivo mais pronunciado do fornecimento de K foi verificado nas plantas a 50%cv, em que as plantas que receberam 97,5 e 195 mg/dm³ K apresentaram, respectivamente, transpiração 64% e 72% superior à das plantas que não receberam K.

Nas avaliações aos 60 dias, os valores de transpiração das plantas de aroeira e jurema-preta foram inferiores aos obtidos aos 30 dias, ao contrário do que foi verificado nas plantas de jucá. Na aroeira, ao contrário do ocorrido aos 30 dias, a transpiração das plantas decresceu com a diminuição na disponibilidade de água, nos tratamentos 0 e 97,5 mg/dm³ K; enquanto que, nas plantas que receberam 195 mg/dm⁻³ K, ocorreu aumento com a redução na quantidade de água fornecida. Nas plantas de jucá a 100%cv, adição de 97,5 e 195 mg/dm³ K promoveu aumento de 12% e 25%, respectivamente, na transpiração, enquanto que naquelas mantidas sob estresse severo (25%cv), a transpiração elevou 11% e 19%, evidenciando o efeito positivo da adubação potássica a essas plantas quando sob baixa disponibilidade hídrica. Em jurema-preta, houve diferença significativa entre as doses de K apenas nas plantas irrigadas a (100%cv). Porém, as plantas a 25%cv, nos três tratamentos de K, apresentaram a maior taxa de transpiração.

Ocorreu decréscimo na condutância estomática (*gs*) nas plantas de aroeira, aos 30 dias, a 100%cv e 25%cv, quando se forneceu o K, ao contrário do que foi verificado nas plantas a 50%cv (estresse moderado), em que a adição de 97,5 e 195 mg/dm³ K proporcionou elevação de 42% e 69% na *gs* (Figura 4). Em jucá, ao contrário do que se verificou nas plantas de aroeira, ocorreu elevação na *gs* à medida que aumentou a dose de K fornecida às plantas, em todos os tratamentos hídricos avaliados. Em jurema-preta, as plantas mantidas sob estresse severo (25%cv) apresentaram valores de *gs* superiores aos outros tratamentos e, semelhante ao constatado na taxa de transpiração (Figura 3), as plantas que receberam 195 mg/dm³ K, nos tratamentos 100% e 50%cv, os valores de *gs* foram superiores aos obtidos nas outras doses, enquanto que, no tratamento 25%cv, a dose que proporcionou maior valor foi 97,5 mg/dm³ K.

Aos 60 dias, a condutância estomática das plantas de aroeira decresceu à medida que a quantidade de água adicionada ao vaso foi reduzida em todas as doses de K (Figura 4). No entanto, ocorreu aumento com a elevação progressiva na quantidade de K, nas plantas a 100%cv e 50%cv. No tratamento 25%cv, o fornecimento de 97,5 e 195 mg/dm³ K proporcionou aumentos de 186% e 90% na condutância estomática. Comparando-se as espécies, as plantas

de jucá apresentaram os maiores valores de g_s e, semelhante ao constatado na aroeira, a condutância estomática diminuiu à medida que o nível de déficit hídrico aumentou nas plantas sob os tratamentos 0 e 97,5 mg/dm³ K. Naquelas em que se adicionou 195 mg/dm³ K, o maior valor de g_s foi verificado nas plantas sem déficit hídrico (100%cv), seguido das plantas sob déficits hídricos severo (25%cv) e moderado (50%cv).

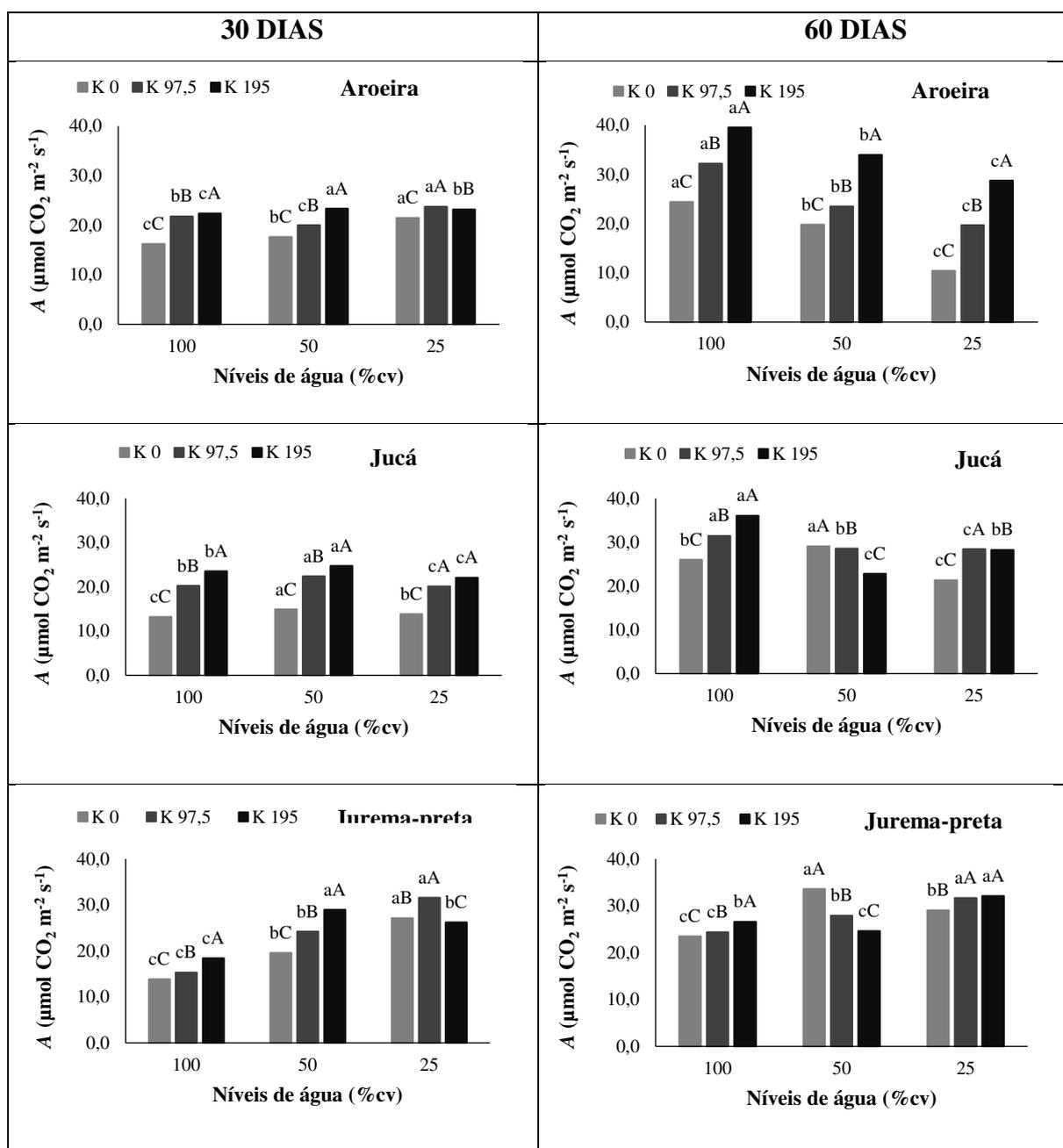


Letras maiúsculas comparam as doses de K, dentro de cada regime hídrico; letras minúsculas comparam os regimes hídricos, em cada dose de K.

Figura 4. Condutância estomática (g_s) das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica.

Em jurema-preta aos 60 dias, as plantas mantidas a 50%cv e que não receberam a adição de K ao substrato apresentaram o maior valor de g_s , com decréscimo à medida que a quantidade de K fornecida aumentou. Contrariamente, a 100%cv e 25%cv ocorreu elevação em g_s , com acréscimo na quantidade de K.

Na Figura 5 são apresentados os valores de A em função dos níveis de água e de potássio testados.



Letras maiúsculas comparam as doses de K, dentro de cada regime hídrico; letras minúsculas comparam os regimes hídricos, em cada dose de K.

Figura 5. Taxa de fotossíntese (*A*) das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica.

Nas plantas de aroeira ocorreu elevação em *A*, aos 30 dias, à medida que a disponibilidade de água reduzia, o que foi favorecido pela adição de K. Este comportamento também foi constatado em jucá, em que sob déficit hídrico, quando se forneceu 97,5 mg/dm³ K, ocorreu aumento de 50% e 46% na fotossíntese das plantas sob déficit moderado (50%cv) e severo (25%cv), quando comparadas ao tratamento 100%cv (Figura 5). Dobrando-se a dose de K (195 mg/dm³ K), os incrementos foram de 66% e 60% na mesma linha de comparação. Em relação às plantas de jurema-preta, o comportamento também foi similar, exceto nas plantas sob déficit hídrico severo, em que a adição de 97,5 mg/dm³ K proporcionou o melhor resultado de taxa fotossintética (Figura 5).

Aos 60 dias, analisando-se os tratamentos de forma isolada, verificou-se que, dentro do regime hídrico, a taxa de fotossíntese das plantas de aroeira decresceu quando a disponibilidade de água diminuiu em todas as doses de potássio. Nas plantas de aroeira que não receberam K, a taxa de fotossíntese reduziu pela metade quando estas foram submetidas ao déficit hídrico severo, em comparação com as plantas bem irrigadas. Analisando-se a interação, percebeu-se elevação na fotossíntese à medida que se elevou a dose de K adicionada ao substrato. Em jucá e jurema-preta, os dados variaram, ocorrendo elevação na fotossíntese com o aumento na dose de K nas plantas mantidas a 100%cv e 25%cv e redução naquelas a 50%cv.

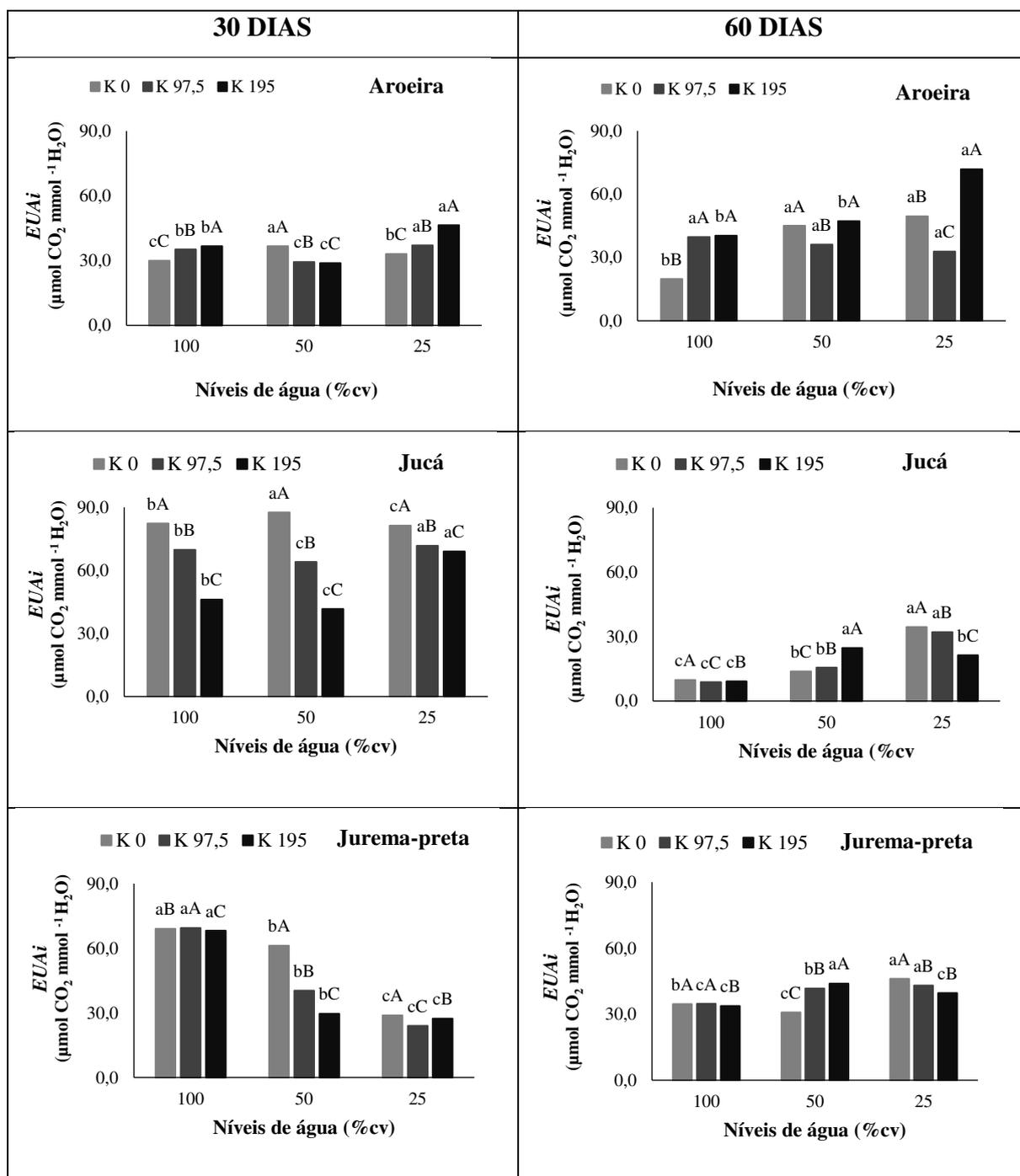
3.3 Eficiência instantânea no uso da água (*EUAI*)

A eficiência instantânea no uso da água (*EUAI*) das plantas de aroeira (Figura 6), aos 30 dias, aumentou com a dose de K nas plantas mantidas a 100% e 25%cv, enquanto que, a 50%cv, ocorreu o inverso. Comportamento semelhante foi verificado em jucá, em que a *EUAI* decresceu à proporção que a dose de K se elevou, em todos os tratamentos hídricos.

Em jurema-preta, não houve diferença estatística na *EUAI* entre as doses de K nas plantas a 100%cv, enquanto que, a 50%cv, ocorreu redução progressiva com elevação no K. Comparando-se os tratamentos hídricos, percebe-se que ocorreu decréscimo na *EUAI* à medida que o déficit hídrico se acentuou nas três doses de K avaliadas (Figura 6).

Aos 60 dias, nas plantas de aroeira, foi verificada variação na *EUAI* entre os tratamentos hídricos e de adubação potássica, sendo que o maior valor foi obtido nas plantas mantidas a 25%cv e que receberam 195 mg/dm³ K. Em jucá e jurema-preta, ocorreu redução na *EUAI* em relação aos 30 dias, porém não houve diferença estatística entre as doses de K, a 100%cv,

aumentando com elevação na dose de K, a 50%cv, e redução a 25%cv. No entanto, em todos os tratamentos de adubação, os maiores valores de *EUAI* ocorreram nas plantas mantidas sob déficit hídrico severo.



Letras maiúsculas comparam as doses de K, dentro de cada regime hídrico; letras minúsculas comparam os regimes hídricos, em cada dose de K.

Figura 6. Eficiência instantânea (*EUAI*) do uso da água das plantas de aroeira, jucá e jurema-preta, aos 30 e 60 dias, em função dos níveis de água e da adubação potássica.

3.4 Concentrações foliares de aminoácidos, proteínas e açúcares solúveis totais

Em relação à concentração de aminoácidos, não houve interação significativa dos tratamentos em nenhuma das espécies estudadas, sendo detectado efeito significativo dos níveis de água apenas em aroeira e jucá e dos níveis de potássio em aroeira e jurema-preta.

Nas plantas de aroeira, houve elevação nas concentrações foliares de aminoácidos totais quando o nível de água diminuiu de 100%cv (467,9 $\mu\text{g gMF}^{-1}$) para 50%cv (599,3 $\mu\text{g gMF}^{-1}$), representando aumento de 28%, seguido de redução quando o nível de água diminuiu para 25%cv. Em jucá, não houve diferença significativa entre os maiores níveis de água testados, e a concentração de aminoácidos totais passou de 580,4 $\mu\text{g gMF}^{-1}$ (100%cv) para 875,3 $\mu\text{g gMF}^{-1}$ (25%cv), significando elevação de 51% nesses solutos (Tabela 1).

Tabela 1 - Concentração foliar de aminoácidos totais em plantas de aroeira e jucá em função dos níveis de água aos 60 dias após o início dos regimes hídricos

Níveis de água (%cv)	Aroeira	Jucá
	Aminoácidos totais ($\mu\text{g gMF}^{-1}$)	
100	467,9 b	580,4 b
50	599,3 a	552,2 b
25	419,4 b	875,3 a

Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Quanto ao uso do potássio, verifica-se seu efeito positivo, ocorrendo elevação da concentração de aminoácidos em relação ao tratamento, já que o potássio não foi adicionado ao substrato (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentração foliar de aminoácidos totais em plantas de aroeira em função da adubação potássica aos 60 dias após o início dos regimes hídricos

Doses de K (mg dm^{-3} K)	Aminoácidos totais ($\mu\text{g gMF}^{-1}$)
0	356,1 b
97,5	545,3 a
195	585,2 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Semelhante ao relatado para concentração de aminoácidos, verificou-se efeito isolado dos tratamentos na concentração de proteínas nas plantas de aroeira, porém houve interação significativa dos tratamentos na concentração de proteínas em jucá e jurema-preta. Percebe-se aumento na concentração de proteínas nas plantas de aroeira quando submetidas a déficit hídrico moderado (50%cv), em relação às plantas a 100%cv (Tabela 3). No entanto, os valores decrescem novamente quando o déficit hídrico é severo (25%cv). Em relação à adubação potássica (Tabela 4), o comportamento é o inverso, pois as plantas, a 50%cv, apresentaram a menor concentração de proteínas.

Tabela 3 - Efeito dos níveis de água na concentração foliar de proteínas em plantas de aroeira aos 60 dias após o início dos regimes hídricos

Níveis de água (%cv)	Proteínas ($\mu\text{g gMF}^{-1}$)
100	19,43 b
50	23,65 a
25	21,19 b

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tabela 4 - Efeito das doses de potássio na concentração foliar de proteínas em plantas de aroeira aos 60 dias após o início dos regimes hídricos

Doses de K (mg dm^{-3} K)	Proteínas ($\mu\text{g gMF}^{-1}$)
0	22,95 a
97,5	18,91 b
195	22,42 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Houve interação significativa entre os tratamentos na concentração de proteínas em plantas de jucá e jurema-preta. Em jucá (Tabela 5), analisando-se os níveis de água dentro de cada tratamento de K, verificou-se diferença estatística apenas quando se utilizou 97,5 mg dm^{-3} K, uma vez que as plantas a 100% e 25%cv apresentaram valores de concentração de proteínas superiores àquelas a 50%cv. Comparando-se as doses de K, em cada nível de água, a 100%cv, a concentração de proteínas obtida nas plantas que receberam 97,5 mg dm^{-3} K foi superior à dos outros tratamentos de adubação. No entanto, sob 50%cv, ocorreu decréscimo na concentração de proteínas quando se forneceu potássio. Não foi detectada diferença significativa entre as doses de K quando as plantas foram mantidas a 25%cv.

Nas plantas de jurema-preta (Tabela 5), não houve diferença significativa das concentrações de proteínas entre os níveis de água, nos tratamentos 0 e 97,5 mg dm⁻³ K, e, quando se forneceu 195 mg dm⁻³ K, percebeu-se que as plantas apresentaram a maior concentração de proteínas. Entre as doses de K, não houve diferença estatística nas plantas mantidas a 100% e 25%cv, mas, ao contrário do que ocorreu nas plantas de jucá, a 50%cv, ocorreu aumento nesse soluto orgânico à medida que a dose de K elevou, com o maior valor obtido quando se forneceu 195 mg dm⁻³ K.

Tabela 5 - Efeito dos níveis de água e das doses de potássio na concentração foliar de proteínas em plantas de jucá e jurema-preta aos 60 dias após o início dos regimes hídricos

Jucá			
Níveis de água (%cv)	Doses de K (mg dm ⁻³ K)		
	0	97,5	195
100	21,7 aB	24,2 aA	19,2 aB
50	22,6 aA	19,6 bB	19,4 aB
25	20,3 aA	22,3 aA	20,6 aA
Jurema-preta			
Níveis de água (%cv)	Doses de K (mg dm ⁻³ K)		
	0	97,5	195
100	20,4 aA	24,8 aA	21,1 bA
50	19,9 aB	22,4 aB	27,1 aA
25	23,9 aA	19,8 aA	21,5 bA

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Não foi detectado efeito significativo dos tratamentos nem interação na concentração de açúcares solúveis totais nas plantas de aroeira e jucá, havendo efeito significativo apenas da adubação potássica nesses solutos, nas plantas de jurema-preta (Tabela 6). Notou-se redução à medida que a dose de K aumentou, de 36% e 43%, quando as plantas foram adubadas com 97,5 e 195 mg dm⁻³ K, respectivamente, em comparação com aquelas que não receberam o potássio.

Tabela 6 - Efeito das doses de potássio na concentração foliar de açúcares solúveis totais em plantas de jurema-preta aos 60 dias após o início dos regimes hídricos

Doses de K (mg dm ⁻³ K)	Açúcares solúveis totais (µg gMF ⁻¹)
0	43,13 a
97,5	27,41 b
195	24,61 b

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

4. DISCUSSÃO

4.1 Teor relativo de água

Conforme apresentado nas Figuras 1A e 1B, o K não influenciou o *TRA* das plantas de aroeira quando mantidas sob elevado nível de água no substrato (100%cv). Porém, o seu efeito benéfico foi notado aos 60 dias sob condições de déficit hídrico moderado (50%cv) e severo (25%cv), em que os maiores valores de *TRA* foram obtidos com 97,5 mg/dm³ K e 195 mg/dm³ K, respectivamente. Quanto à jurema-preta (Figura 1C), a adubação potássica não influenciou positivamente o *TRA* foliar, possivelmente porque a quantidade desse nutriente presente no substrato (4,0 cmol/dm³ K) pode ter sido suficiente para as plantas mantidas a 100%cv, e o aumento da dose de K pode ter proporcionado efeito osmótico no solo, diminuindo a disponibilidade de água às plantas. Contrariamente, em jucá, aos 60 dias, o aumento nas doses de K favoreceu o *TRA*, ocorrendo elevação possivelmente porque a elevação na concentração desse íon no vacúolo celular pode ter proporcionado maior absorção de água e, dessa forma, maior *TRA* foliar (Figura 2B). Nessa espécie, em relação ao regime hídrico (Figura 2A), verificou-se diminuição do *TRA* à medida que a quantidade de água fornecida às plantas diminuiu, evidenciando que a manutenção de elevado nível de água pode prejudicar o seu metabolismo, o que demonstra a capacidade da espécie em tolerar níveis baixos de água no solo.

A manutenção do *TRA* elevado pode ser devido ao fato de a nutrição com K auxiliar as plantas na tolerância à seca, especialmente por favorecer a fotossíntese e o transporte de carboidratos das folhas para as raízes (MARTINEAU et al., 2017a) que, aliado ao possível acúmulo do K nas raízes, pode ter exercido efeito osmótico no vacúolo das células, favorecendo a absorção da água. (PREMACHANDRA et al., 1992). Além disso, o acúmulo de açúcares solúveis nas plantas, em conjunto com outros mecanismos fisiológicos como a redução em *g*s e *E*, contribuem para a hidratação dos tecidos (LEITE et al., 2018).

Avaliando o estresse hídrico em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) Sapeta et al. (2013) verificaram maiores valores de *TRA* nas plantas submetidas a estresse severo, os quais permaneceram em torno de 83%. Ramos e Freire (2019) verificaram *TRA* em faveleira (*Cnidoscolus quercifolius* Pohl) reduzindo de 88% na estação chuvosa para 51% na estação seca. Diminuições nos valores de *TRA* causadas pelo déficit hídrico foram relatadas em *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (WANG, 2014) e *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima (ATAÍDE et al., 2018).

Apesar da diminuição nos valores do *TRA* em aroeira, aos 30 dias, quando se reduziu a disponibilidade hídrica, estes ainda estão acima do limite considerado crítico por Pardo (2010), 50%, que pode levar à morte do tecido vegetal.

4.2 Comportamento estomático em função dos níveis de água e da adubação potássica

A redução no *TRA* foliar em aroeira (Figuras 1A,1B), à proporção que a quantidade de água adicionada ao substrato diminuiu, desencadeou uma das principais respostas das plantas à deficiência hídrica – o fechamento estomático, promovendo decréscimo em *E* (Figura 3), *g_s* (Figura 4) e *A* (Figura 5). Diminuição no teor de umidade no solo promove a produção do ácido abscísico (ABA) no sistema radicular, o qual será transportado para as folhas, causando a despolarização da membrana plasmática das células-guarda, resultando no fechamento dos estômatos (INÁCIO et al., 2011; MORAES, 2011). Sob déficit hídrico, a regulação estomática constitui estratégia para limitar a perda de água pelas plantas (CHAVES et al., 2002). Os estômatos são responsáveis pelas trocas gasosas entre as plantas e o meio externo, controlando as perdas de água por transpiração (SCALON et al., 2011) e desempenhando papel central na fixação do CO₂ atmosférico, ao mesmo tempo que evita a desidratação dos tecidos e consequente morte do vegetal (CHAVES et al., 2016). Esse fechamento dos estômatos em situações em que os recursos hídricos tornam-se reduzidos é relatado em diversas pesquisas (ALBUQUERQUE et al., 2013; CAMPELO et al., 2015; FRANÇA et al., 2017).

Existem inúmeras pesquisas demonstrando a relação direta entre o conteúdo de água no solo e alterações nas trocas gasosas, com redução progressiva na taxa de fotossíntese, condutância estomática e na taxa de transpiração à medida que o déficit hídrico progride, a exemplo de espécies como pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (SAPETA et al., 2013), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) (COSTA et al., 2015), ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) (PESSOA; FREIRE; COSTA, 2017), taxi-branco

(*Tachigali vulgaris* L.G. (ATAÍDE et al., 2018) e seringueira (*Hevea brasiliensis* L.) (NASCIMENTO; NASCIMENTO; GONÇALVES, 2019).

Sob estresse hídrico, ocorre o fechamento estomático, contribuindo para a diminuição da perda de água por transpiração, tendo, como consequência, prejuízos na absorção de CO₂, com reflexos diretos na fotossíntese (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). Os efeitos da deficiência hídrica na taxa fotossintética das plantas podem ser por limitações estomáticas, promovendo mudanças na abertura e fechamento dos estômatos ou resistência ao influxo de CO₂, causando redução da disponibilidade de CO₂ à enzima (Rubisco) ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (FLEXAS et al., 2004; JACINTO JÚNIOR et al., 2019) ou por limitações não estomáticas em consequência do comprometimento da regeneração da Rubisco (Ribulose 1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase) (FLEXAS; MEDRANO, 2002; CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). Além disso, esse fechamento estomático decorrente do estresse hídrico pode causar menor eficiência do fotossistema II devido à limitação da quantidade de água absorvida, comprometendo assim a produção de ATP e NADPH e, conseqüentemente, a fixação do CO₂ e produção de açúcares (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

Foi verificado que o nível de água a 100%cv foi prejudicial às plantas em alguns parâmetros avaliados, a exemplo do *TRA* em aroeira (Figura 1) e jucá (Figura 2), *E* em jucá e jurema-preta (Figura 3), *gs* em jurema-preta (Figura 4) e *A* nas três espécies estudadas (Figura 5). Possivelmente esse nível de água adotado tenha causado excesso de umidade no substrato, levando à deficiência de oxigênio, limitando a absorção de água pelas raízes, comprometendo, assim, aspectos fisiológicos das plantas. De acordo com Fernandes (2012), o estresse hídrico não é causado apenas quando os recursos hídricos se tornam escassos, mas também quando estão disponíveis além do necessário podem se tornar prejudiciais. Em ambientes saturados, os níveis de O₂ são reduzidos devido à menor difusão de oxigênio, resultando em menor absorção de água pelas plantas (OLIVEIRA; GUALTIERE, 2017).

Nessas condições, os espaços que eram preenchidos por oxigênio são ocupados por água, tornando o ambiente anóxico (SCREMIN-DIAS et al., 2011). Diminuições nos valores da taxa de fotossíntese e condutância estomática foram observadas em muitas espécies arbóreas submetidas a condições de alagamento (GONÇALVES et al., 2013; ROSA et al., 2018; QUEIROZ-ALVES et al., 2019; VIDAL et al., 2019). Em ingá-bravo (*Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunt ex DC.) Lira et al. (2013) constataram que, sob alagamento, houve redução de 48% em *A* e *gs*, e que a concentração intercelular de CO₂ (*C_i*) permaneceu alta, o que levou esses pesquisadores a pensarem que as alterações nas trocas gasosas estavam associadas a fatores além do fechamento estomático, possivelmente a etapa fotoquímica. Igualmente, Queiroz

Alves- et al. (2019) verificaram, em plantas de sapucainha (*Carpotroche brasiliensis* Engl.) submetidas a 21 dias de alagamento, reduções de 74% e 87%, respectivamente, nos valores de *A* e *gs*. As espécies sensíveis a tais condições podem, além de sofrer as alterações acima relatadas (OLIVEIRA; GUALTIERE, 2017), reduzir o crescimento das raízes, da expansão das folhas, murchamento e, por fim, senescência destas (SCALON et al., 2011).

Em relação à interação entre os níveis de água e a adubação potássica, o comportamento das espécies foi variado e, apesar de não ter ocorrido variação significativa no *TRA* na aroeira aos 30 dias, nas plantas a 100%cv e 50%cv (Figura 1A), os parâmetros estomáticos foram positivamente influenciados pelo K, ocorrendo elevação em *E* (Figura 3), em *gs* (Figura 4) e *A* (Figura 5), nas duas épocas de avaliação. No entanto, o efeito benéfico do K se tornou mais evidente nas plantas de aroeira sob déficit hídrico severo (25%cv), aos 60 dias, semelhante ao verificado em jucá. Em jurema-preta, aos 30 dias, a dose mais alta de K foi prejudicial às plantas sob déficit hídrico severo, sendo que esse efeito foi revertido aos 60 dias, com elevação na condutância estomática e taxa de fotossíntese (Figura 4 e 5).

O fornecimento do K promoveu a abertura dos estômatos em virtude de reduzir o potencial osmótico das células-guarda, resultando na entrada de água para estas, aumentando a sua turgescência (TAIZ; ZEIGER, 2013), favorecendo as trocas gasosas sob condições de menor disponibilidade hídrica. Diversos estudos relatam o papel central do potássio em proporcionar resistência aos efeitos adversos ocasionados pelos estresses abióticos (CAKMAK, 2005; MENDES et al., 2013; DIAS et al., 2019) em funções importantes, as quais contribuem para a mitigação dos efeitos ocasionados pela seca. Esse íon é essencial na turgescência, manutenção de alto teor de água e osmorregulação das células (FOURNIER et al., 2005; MARENCO; LOPES, 2011; BATTIE-LACLAU et al., 2014), regulação estomática (ARQUERO et al., 2006; BENLLOCH-GONZÁLEZ et al., 2008; PASQUINI; SANTIAGO, 2011; ZAHOOR et al., 2017) e eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS), a qual garante a manutenção de área foliar fotossinteticamente ativa sob estresse hídrico (CHRISTINA et al., 2015).

Os efeitos positivos da adubação com K foram relatados por Mendes et al. (2013) que, avaliando as respostas fisiológicas de cinco genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica, verificaram que os genótipos, sob deficiência hídrica e que receberam adubação com K, apresentaram aumento no desempenho fisiológico com elevação em *A* e *E*. Igualmente, Ramos e Freire (2019) em plantas de faveleira (*C. quercifolius*), sob déficit hídrico, constataram elevação destas variáveis bem como em *gs* à medida que se aumentaram as doses de K.

4.3 Eficiência instantânea no uso da água (*EUAi*)

O K favoreceu a *EUAi* das plantas de aroeira, principalmente quando submetidas ao déficit hídrico severo, porém não exerceu efeito positivo em jucá e jurema-preta (Figura 6), indicando que, mesmo sob reduzida disponibilidade de água, as plantas conseguiram fixar o carbono necessário para a manutenção das suas atividades fisiológicas (CHAVES; MAROCO; PEREIRA, 2003). Esse aumento pode ter sido decorrente do maior efeito positivo do K sobre *A* (Figura 5) em detrimento da *gs* (Figura 4), concordando com as informações de Tsonev et al. (2011), os quais relataram que redução em *gs* e não em *A* pode explicar os maiores valores de *EUAi* das plantas sob déficit hídrico. De acordo com Chaves, Flexas e Pinheiro (2009), sob estresse hídrico, um pequeno declínio na condutância estomática pode ter efeito protetor contra o estresse hídrico, pois permite que as plantas economizem água e assim melhorem a eficiência no seu uso.

A eficiência instantânea no uso da água (*EUAi*) é medida em uma escala de curto prazo e definida como a razão entre a assimilação líquida de CO₂ (*A*) e a condutância estomática (*gs*). No entanto, Martineau et al. (2017b) afirmaram que os resultados relatados na literatura acerca dos impactos do K na *EUAi* são menos claros, provavelmente devidos à heterogeneidade dos parâmetros experimentais, como idade e status de K das plantas usadas, e da diversidade de espécies testadas. Para Medrano, Flexas e Galmés (2009), esse comportamento pode variar entre espécies e entre diferentes fenofases, porém as plantas que respondem a estresse hídrico com alta eficiência no uso da água conseguem resistir à seca com melhor desempenho.

O fato de o K não ter exercido efeito positivo na *EUAi* em jucá e jurema-preta (Figura 6) sob os níveis de água avaliados pode estar relacionado ao fato de que esse nutriente foi mais benéfico à *gs* (Figura 4) do que à *A* (Figura 5), concorrendo para a redução na *EUAi* à medida que a dose de K aumentou. No entanto, aos 60 dias, a 50%cv, pode-se notar o efeito benéfico do K na *EUAi*. Esses resultados diversos reforçam as afirmações acima de Martineau et al. (2017b) acerca da heterogeneidade das respostas das espécies ao uso do K em atenuar os efeitos da deficiência hídrica na eficiência instantânea no uso da água.

4.4 Concentrações foliares de aminoácidos, proteínas e açúcares solúveis totais

O aumento na concentração de aminoácidos totais nos tratamentos sob déficit hídrico em aroeira e jucá (Tabela 1) pode ser interpretado como estratégia de tolerância às baixas condições hídricas impostas às plantas. Esse fato pode justificar a manutenção de elevado *TRA*

foliar apresentado por essas espécies sob déficit hídrico (Figuras 1 e 2). Percebe-se também que ocorreu aumento na concentração de aminoácidos também em resposta à adição de K, em aroeira (Tabela 2), o que pode estar associado à queda na concentração de proteína, resultado da sua degradação, com a elevação na quantidade de K fornecida (Tabela 3). Nessa espécie, verificou-se elevação na concentração de proteínas com a redução na quantidade de água (Tabela 4).

Nas plantas de jucá, no tratamento 100%cv (Tabela 4), verificou-se que a dose de 97,5 mg dm⁻³ K proporcionou a maior concentração de proteínas, enquanto que nas plantas sob déficit moderado (50%cv), ocorreu decréscimo na concentração de proteínas à medida que a dose de K se elevava. No entanto, em jurema-preta, o comportamento foi o inverso, com elevação na concentração de proteínas proporcional ao aumento na dose de K (Tabela 5), no mesmo nível de água acima citado. Além disso, nas doses de 0 e 97,5 mg dm⁻³ K, ocorreu igualdade entre os níveis de água em relação à concentração de proteínas.

Em relação aos açúcares solúveis totais, verificou-se resposta significativa apenas na jurema-preta, com efeito da adubação potássica, reduzindo a concentração desses compostos orgânicos (Tabela 6). O comportamento apresentado pelas plantas de jurema-preta, em que não ocorreu efeito significativo do déficit hídrico nas concentrações de solutos osmoticamente ativos (aminoácidos e açúcares solúveis), demonstra que tais plantas não se ajustaram osmoticamente, e que se utilizaram de outras estratégias para sobreviver em tais condições. Dentre essas, pode ser citada a baixa taxa de transpiração (Figura 3), minimizando a perda de água e manutenção de processos essenciais, como a fotossíntese.

O acúmulo de solutos osmoticamente ativos é essencial para manter a turgescência celular e assim permitir que as plantas mantenham seus processos fisiológicos sem levar o vegetal à morte. No entanto, o tipo e a concentração de solutos variam com a espécie, sendo que as plantas podem acumular ou degradar solutos, dependendo do estresse e da sua própria capacidade/plasticidade fisiológica.

Em plantas de aroeira (*M. urundeuva*) submetidas ao déficit hídrico progressivo, Costa et al. (2015) relataram aumento nas concentrações de aminoácidos e açúcares totais livres nas plantas. Após 12 dias sem irrigação, não ocorrem alterações significativas na concentração de proteínas. Resultados semelhantes foram encontrados por Albuquerque et al. (2013) em plantas de mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.), os quais verificaram aumento na concentração do aminoácido prolina nas plantas submetidas a déficit hídrico. Elevação na concentração desse aminoácido também foi relatada por Oliveira et al. (2017) em plantas de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) e angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan) durante a estação seca.

A prolina é um aminoácido que se acumula em plantas em situações de estresse, e a sua presença tem sido definida como uma estratégia compensatória, isso porque este composto, além de promover a regulação osmótica, é capaz de estabilizar a síntese de proteínas por eliminação de espécies reativas de oxigênio (KISHOR; SREENIVASULU, 2014). Além disso, a prolina possui outras características importantes, como alta solubilidade, o que a torna um importante agente osmótico (LERUDULIER et al., 1984), e é compartimentalizada na mitocôndria liberando energia na forma de FADH₂ e NAD (P) H (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010).

Em plantas jovens de moringa (*Moringa Oleifera* Lam.), submetidas a déficit hídrico, Rivas, Oliveira e Santos (2013) relataram aumento nas concentrações de carboidratos e aminoácidos, não tendo sido constatadas diferenças estatísticas para o acúmulo de proteínas solúveis. Silva (2011), em estudo do déficit hídrico por supressão de água em mudas de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) cultivadas em casa de vegetação, relatou aumento de aminoácidos, carboidratos e proteínas, e também que a concentração de proteínas foi superior a todos os solutos orgânicos estudados. Aumentos nos teores de proteínas também foram verificados em outros trabalhos (TRIPEPI, PÖHLSCHRODER, BITONTI, 2011; BEZERRA, 2016). Contrariamente, em plantas de teca (*Tectona grandis* L. F.), Lechinoski et al. (2007) relataram redução drástica (94,57%) nos teores de proteínas solúveis totais e associaram este comportamento ao aumento da atividade proteolítica, que quebra as enzimas de reservas das plantas, ou, em alguns casos, à diminuição da síntese das plantas.

Nas plantas de jucá, é possível observar que, nas condições de déficit severo (25% da cv), a concentração de aminoácidos foi elevada em 50,81% em relação às plantas mantidas no tratamento controle (Tabela 1), o que foi essencial para manter a turgescência. Possivelmente ocorreu aumento na degradação de proteínas para fornecer aminoácidos necessários às exigências da espécie.

O aumento das pressões de fatores externos, como a redução da disponibilidade hídrica, altera o metabolismo bioquímico das plantas, podendo resultar em aumento na biossíntese das proteínas celulares (CHERNYAD'EV, 2005). Dentre estas, estão as proteínas reguladoras ou proteínas de estresse, como a desidrina (DHNs) que são altamente hidrofílicas, e, em alguns casos, a sua atividade é restrita a células específicas como as células-guardas, meristemáticas ou em sacos de pólen, que atuam como estabilizantes impedindo a inativação enzimática (CHIAPPETTA, et., 2015). Geralmente o nível de expressão das proteínas DHNs é mais alto nos genótipos ou cultivares mais tolerantes a estresses (KOSOVÁ et al 2010).

5 CONCLUSÕES

O déficit hídrico promoveu alterações nas trocas gasosas das três espécies estudadas, sendo que a magnitude das respostas variou com a espécie e a época de avaliação.

O fornecimento de 195 mg/dm³ de K influenciou positivamente as trocas gasosas das espécies estudadas quando a disponibilidade hídrica foi reduzida.

Ocorreu acúmulo de solutos osmoticamente ativos (aminoácidos e açúcares solúveis) nas espécies aroeira e jucá à proporção que o déficit hídrico aumentou.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100002>
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117837020.pdf>.
- ARAÚJO, S. D. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica-Revista Científica da FASETE**, Paulo Afonso, v. 5, n. 5, p. 2-4, 2011. Disponível em: <https://www.fasete.edu.br/revistarios/internas/conteudo/resumo.php?id=84>.
- ARQUERO, O.; BARRANCO, D.; BENLLOCH, M. Potassium starvation increases stomatal conductance in olive trees. **HortScience**, v. 41, n. 2, p. 433-436, 2006. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.2.433>
- ATAÍDE, W.; CÂNDIDO NETO; SILVA, K.; BRITO, A.; CARDOSO, K.; NOGUEIRA, G.; COSTA, T.; OLIVEIRA, T.; MARTINS, J.; MACHADO, L. Crescimento e trocas gasosas de *Tachigali vulgaris* submetida à deficiência hídrica. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 191-200, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17231>
- BAKKE, I. A.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, O. A.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A. Water and sodium chloride effects on *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret seed germination. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 3, p. 261-267, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/82/50>
- BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ, M. R. A.; ARENQUE, B. C.; PICCOLO, M. C.; JORDÂNIA-MEILLE, L.; BOUILLET, J. P.; NOUVELLON, Y. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 1, p. 70-81, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12131>
- BENLLOCH-GONZÁLEZ, M.; ARQUERO, O.; FOURNIER, J. M.; BARRANCO, D.; BENLLOCH, M. K⁺ starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 623–630, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.05.010>

BEZERRA, L. L. **Indicadores fisiológicos, bioquímicos e moleculares em cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) submetido ao estresse salino e déficit hídrico**, 2016. 99f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2015. Disponível em: <https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Tese-2015-LISIANE-LUCENA-BEZERRA.pdf>

BIELESKI, R. I., TURNER, N. A. Separation and estimation of amino acids in crude plants extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, v. 17, p. 278-293, 1966.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

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. DOI: 10.1002/jpln.200420485

CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A.M.E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n.5, p.973-983, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500020>

CHAVES, M. M.; COSTA, J. M.; ZARROUK, O.; PINHEIRO, C.; LOPES, C. M.; PEREIRA, J. S. Controlling stomatal aperture in semi-arid regions—The dilemma of saving water or being cool? **Plant Science**, v. 251, p. 54-64, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.06.015>

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009. DOI:10.1093/aob/mcn125

CHAVES, M. M., PEREIRA, J. S., MAROCO, J., RODRIGUES, M. L., RICARDO, C. P. P., OSÓRIO, M. L., CARVALHO, I., FARIA, T., PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcf105>.

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. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP0207>

CHERNYAD'EV, I. I. Effect of water stress on the photosynthetic apparatus of plants and the protective role of cytokinins: A review. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 41, n. 2, p.115-128, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10438-005-0021-9>.

CHIAPPETTA, A.; MUTO, A.; BRUNO, L.; WOLOSZYNSKA, M.; VAN LIJSEBETTENS, M.; BITONTI, M. B. A dehydrin gene isolated from feral olive enhances drought tolerance in Arabidopsis transgenic plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 392, 2015. DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00392>.

CIEMER, C.; BOERS, N.; HIROTA, M.; KURTHS, J.; MÜLLER-HANSEN, F.; OLIVEIRA, R. S.; WINKELMANN, R. Higher resilience to climatic disturbances in tropical vegetation exposed to more variable rainfall. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 3, p. 174, 2019. DOI: 10.1038/s41561-019-0312-z.

CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; BATTIE-LACLAU, P.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J.-P.; JOURDAN, C.; GONÇALVES, J. L. M.; LACLAU, J. P. Measured and modeled interactive effects of potassium deficiency and water deficit on gross primary productivity and light-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Global Change Biology**, v. 21, n. 5, p. 2022-2039, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12817>

COSTA, A. S.; FREIRE, A. L.O.; BAKKE, I.A.; PEREIRA, F. H.F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n4p705

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. D.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. D. A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of west indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 429-439, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n216rc>.

FERNANDES, E. T. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2012. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, 2012. Disponível em: <http://livrozilla.com/doc/773268/fotoss%C3%ADntese-e-crescimento-inicial-de-clones-de-eucalipto>.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: versão 5.6. Lavras: UFLA, 2011.

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, n. 3, p. 269-279, 2004. DOI: 10.1055 / s-2004-820867

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v.89, n.2, p.183-189, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>

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>

FRANCO, M. P. **Plasticidade de árvores de Eucalyptus grandis no contexto das mudanças climáticas: interação do déficit hídrico e da fertilização no crescimento e qualidade do lenho das árvores**. 2018. 171p. Tese (Doutorado em recursos florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-01082018-111322/en.php>.

FRANÇA, P. H. T.; SILVA, E. C. A.; SILVA, T. C.; BRASIL, N. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) submetidas ao déficit hídrico. **Agropecuária Científica no Semi-árido**, Patos, v. 13, n. 4, p. 264-269, 2017. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/886>.

FU, R.; YIN, L.; LI, W.; ARIAS, P. A.; DICKINSON, R. E.; HUANG, L.; MYNENI, R. B. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 45, p. 18110-18115, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1302584110>

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A.; VALE, F. R.; FAQUIM, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas na fase de

muda. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 1-12, 1999. Disponível em:
<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/18286>.

GONÇALVES, J. F. D. C., MELO, E. G. D. F., FERREIRA, M. J., SILVA, C. E. M. D.; GOMES, I. B. Crescimento, partição de biomassa e fotossíntese em plantas jovens de *Genipa spruceana* submetidas ao alagamento. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 193-200, 2013. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000200003>

HU, L.; WANG, Z.; HUANG, B. Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C3 perennial grass species. **Physiologia Plantarum**, v. 139, n. 1, p. 93-106, 2010. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2010.01350.x

INÁCIO, M. C.; SILVA, E. S.; SOUZA, M. E.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Mensageiros secundários relacionados à ação dos hormônios vegetais. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 4, p. 438-446, 2011. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/140363/ISSN0104-8996-2011-17-04-438-446.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. ISBN 978-92-9169-143-2. Disponível em:
https://epic.awi.de/id/eprint/37530/1/IPCC_AR5_SYR_Final.pdf

JACINTO JÚNIOR, G. S.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B. D.; SILVA, B. D. N.; SOUSA, G. G. D.; OLIVEIRA, L. L. B.; Mesquita, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786343047>

JIN, S. H.; HUANG, J. Q.; LI, X. Q.; ZHENG, B. S.; WU, J. S.; WANG, Z. J.; LIU, G. H.; CHEN, M. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. **Tree Physiology**, v. 31, n. 10, p. 1142-1151, 2011. DOI: [doi:10.1093/treephys/tpr095](https://doi.org/10.1093/treephys/tpr095)

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2013.

KISHOR, P. B. K.; SREENIVASULU, N. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 2, p. 300-311, 2014. DOI: 10.1111/pce.12157.

KOSOVÀ, K.; PRASIL, I. T.; PRASILOVÀ, P.; VITÀMVÀS, P.; CHRPOVÁ, J. The development of frost tolerance and DHN5 protein accumulation in barley (*Hordeum vulgare*) doubled haploid lines derived from Atlas 68× Igri cross during cold acclimation. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 5, p. 343-350, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.09.020>

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; RAMOS, C. A. S.; GONÇALVES NETO, L. P.; GUIMARÃES, D. S. Physiological responses of *Physalis angulata* plants to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 287-297, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p287>

LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. N. M.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e

- aminoácidos solúveis totais em folhas de teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 927-929, 2007. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/viewFile/755/632>
- LERUDULIER, D.; STROM, A. R.; DANDEKAR, A. M.; SMITH, L. T.; VALENTAINE, R. C. Molecular biology of osmoregulation. **Science** v. 224, n. 4653, pag. 1064–1068, 1984. DOI: 10.1126 / science.224.4653.1064.
- LIRA J. M. S.; FERREIRA, R. A.; SILVA JUNIOR, C. D.; SANTOS NETO, E. M.; SANTANA, W. S. Análise de crescimento e trocas gasosas de plantas *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) DC sob alagamento para uso na recuperação de matas de ciliares. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 655-665, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509812349>
- MARTINEAU, E.; DOMEQ, J.; BOSC, A.; DANNOURA, M.; GIBON, Y.; BÉNARD, C.; JORDAN-MIELE, L. The role of potassium on maize leaf carbon exportation under drought condition. **Acta Physiologie Plantarum**, v. 39, n. 10, p. 219, 2017a. DOI: 10.1007/s11738-017-2515-5
- MARTINEAU, E.; DOMEQ, J.; BOSC, A.; DENOROY, P.; FANDINO, V. A.; LAVRES Jr, J.; JORDAN-MIELE, L. The effects of potassium nutrition on water use in field-grown maize (*Zea mays* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 134, p. 62-71, 2017b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.11.004>
- MEDRANO, H.; FLEXAS, J.; GALMÉS, J. Variability in water use efficiency at the leaf level among Mediterranean plants with different growth forms. **Plant and Soil**, v. 317, n. 1-2, p. 17-19, 2009. DOI: 10.1007/s11104-008-9785-z
- MARENCO R. A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3ed. Editora UFV, Viçosa. 486p, 2011.
- MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**, Lavras, v.19, n. 4, p. 603- 611, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000400010>
- MORAES, J. V. **Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação**. 2011. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102832>
- NASCIMENTO, N. F.; NASCIMENTO, L. B. D. B.; GONÇALVES, J. F. C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1019-1032, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509832658>
- OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Paratudo) submetidas a alagamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 181-191, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509826457>
- OLIVEIRA, M. T.; SOUZA, G. M.; PEREIRA, S.; OLIVEIRA, D. A.; FIGUEIREDO-LIMA, K. V.; ARRUDA, E.; SANTOS, M. G. Seasonal variability in physiological and anatomical traits contributes to invasion success of *Prosopis juliflora* in tropical dry forest. **Tree Physiology**, v. 37, n. 3, p. 326-337, 2017. DOI: 10.1093/treephys/tpw123.

- PARDO, J. M. Biotechnology of water and salinity stress tolerance. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 21, n. 2, p. 185-196, 2010. DOI: 10.1016 / j.copbio.2010.02.005
- PASQUINI, S. C.; SANTIAGO, L. S. Nutrients limit photosynthesis in seedlings of a lowland tropical forest tree species. **Oecologia**, v. 168, n. 2, p. 311-319, 2012. DOI: 10.1007/s00442-011-2099-5
- PEAK, D.; WEST, J. D.; MESSINGER, S. M.; MOTT, K. A. Evidence for complex, collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. **PNAS**, v. 101, n. 4, p. 918-922, 2004. DOI: 10.1073/pnas.0307811100.
- PEEVA, V.; CORNIC, G. Leaf photosynthesis of *Haberlea rhodopensis* before and during drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 2-3, p. 310-318, 2009. DOI: 10.1016/j.bbr.2011.03.031.
- PESSOA, J. L.; FREIRE, A. L. O.; COSTA, A. S. Trocas gasosas de plantas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos submetidas ao déficit hídrico e posterior reidratação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 3, p. 269-276, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711632017269>
- 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. DOI: 10.1093/jxb/erq340.
- PREMACHANDRA, G. S.; SANEOKA, H.; FUJITA, K.; OGATA, S. Leaf water relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing water deficits in sorghum. **Journal of Experimental Botany**, v. 43, n.12, p. 1569–1576, 1992. DOI:<http://dx.doi.org/10.1093/jxb/43.12.1569>.
- QUEIROZ-ALVES, L.; LEAL, A.; DALMOLIN, Â. C.; SCHAFFER, B.; MIELKE, M. S. Photosynthesis and Survival of Young *Carpotroche brasiliensis* Endl.(Achariaceae) Plants Subjected to Flooding. **Forest Science**, v. 65, n. 6, p. 670-674, 2019. DOI: 10.1093/forsci/afx034
- 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i1.5735>
- REICH, P. B. The world-wide ‘fast–slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 2, p. 275-301, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12211>
- RIVAS, R.; OLIVEIRA, M. T.; SANTOS, M. G. Three cycles of water deficit from seed to young plants of *Moringa oleifera* woody species improves stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p. 200-208, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.026>.
- ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S. D. P. Q.; CREMON, T.; DRESCH, D. M. Gas Exchanges and Antioxidant Activity in *Copaifera langsdorffii* Desf. Seedlings after Flooding. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 05, p. 979-994, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.95075>
- SAPETA, H; COSTA, J. M.; LOURENÇO, T.; MAROCO, J.; LINDE, P. V.; OLIVEIRA, M. Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and physiology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 85, p. 76-84, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.08.012>.

- SCALON, S. P. Q.; MUSSUY, R. M.; EUZEBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050984510>
- SCREMIN-DIAS, E.; LORENZ-LEMKE, A. P.; OLIVEIRA, A. K. M. The floristic heterogeneity of the Pantanal and the occurrence of species with different adaptive strategies to water stress. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 1, p. 275-282, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842011000200006>
- SHABALA, S.; POTTOSIN, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 151, n. 3, p. 257-279, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.12165>
- SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; QUEIROZ, D. É.; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 377-384, 2017. DOI: 10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384
- SILVA, M. A. V. **Caracterização fisioanatômica e bioquímica do Juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) submetido ao déficit hídrico**. 2011. 159. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2011. Disponível em: http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/maria_alice_vasconcelos_da_silva.pdf.
- SILVEIRA, R. L. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. 2000. 169f. Tese. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000. Disponível em: <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/silveira,rlva.pdf>
- SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001. DOI: 10.1590/S0100-204X2001001000002
- SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional aminoacid. **Trends in Plant Science**, v.15, n. 2, p.89-97, 2010. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed.- Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TRIPEPI, M.; PÖHLSCHRODER, M.; BITONTI, M. B. Diversity of dehydrins in Oleae europaea plants exposed to stress. **Open Plant Science Journal**, v. 5, n. 1 p. 9-13, 2011. DOI: 10.2174/1874294701105010009.
- TSONEV, T.; VELIKOVA, V.; YILDIZ-AKTAS, L.; GÜREL, A.; EDREVA, A. Effect of water deficit and potassium fertilization on photosynthetic activity in cotton plants. **Plant Biosyst**, v. 145, n. 4, p. 841-847, 2011. DOI:10.1080/11263504.2011.560199
- VIDAL, D. B.; ANDRADE, I. L. M. M.; DALMOLIN, Â.; MIELKE, M. Photosynthesis and growth of copaiba seedlings subjected to soil flooding. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. e20160596, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.056916>
- WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Science**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>

WANG, L.F. Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 83, p. 243-249, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.012>

YEMM, E. W.; COCCKING, E. C. The determination of amino acid with ninhidrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-14, 1954.

ZAHOOR, R.; DONG, H.; ABID, M.; ZHAO, W.; WANG, Y.; ZHOU, Z. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 73-83, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.002>

ZEMP, D. C.; SCHLEUSSNER, C. F.; BARBOSA, H. M.; HIROTA, M.; MONTADE, V.; SAMPAIO, G.; RAMMIG, A. Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2017. DOI: [10.1038/ncomms14681](https://doi.org/10.1038/ncomms14681)