



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



ERIKA RAYRA LIMA NONATO

INOCULAÇÃO COM *Rhizobium* sp. DE MUDAS DE JUREMA-PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) SOB DÉFICIT HÍDRICO

PATOS – PB

2022

ERIKA RAYRA LIMA NONATO

INOCULAÇÃO COM *Rhizobium* sp. DE MUDAS DE JUREMA-PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) SOB DÉFICIT HÍDRICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, na Área de concentração Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire

PATOS – PB

2022

N812i Nonato, Erika Rayra Lima.
Inoculação com *Rhizobium* sp. de mudas de jurema-preta
(*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) sob déficit hídrico / Erika
Rayra Lima Nonato. – Patos, 2022.
61 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –
Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e
Tecnologia Rural, 2022.
"Orientação: Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira
Freire".
Referências.

1. Rizóbio. 2. Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*). 3.
Qualidade de Mudas. 4. Trocas Gasosas. 5. Estresse
Hídrico. I. Freire, Antonio Lucineudo de Oliveira. II. Título.

CDU 579.841.3:582.736.1(043)

ERIKA RAYRA LIMA NONATO

INOCULAÇÃO COM *Rhizobium* sp. DE MUDAS DE JUREMA-PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) SOB DÉFICIT HÍDRICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, na Área de concentração Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Aprovada em: 18/02/2022

Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire (PPGCF/UFCG)
Orientador

Profª Drª Séfora Gil Gomes de Farias (UFPI/CPCE)
1ª Examinadora

Prof. Dr. Pedro Nicó de Medeiros Neto (UFCG/CSTR)
2ª Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu Grandiosíssimo Deus Majestoso, Senhor dos Senhores e Digno de toda Honra, Glória e Louvor, por me abençoar, guiar e iluminar durante toda essa caminhada, concedendo bênçãos e coragem para vencer todos os obstáculos.

À minha família, meus pais Raimundo dos Santos Nonato e Adivaira Maria Jati de Lima pelo amor inigualável, pelos conselhos sábios, pela dedicação e confiança depositada. Obrigada por nunca medirem esforços quando assunto é minha educação e crescimento!

À Iara, Elisama, Giulliana, Jonatas e Gabi, meus grandes amigos que independente da distância, sempre estiveram comigo, dando toda a palavra amiga necessária nos momentos difíceis. A vocês, toda a minha gratidão.

À Juliana, que sempre esteve presente comigo e foi a peça chave para esse experimento acontecer. Nada que eu escrever conseguirá descrever o quanto eu sou grata pela sua amizade e companheirismo! Te desejo tudo de melhor hoje e sempre, e espero que possamos sempre contar uma com a outra independente de qualquer circunstância. Te amo!

Aos meus amigos Clícia, Dioneide, Ewerton, Isabella, Jailson e Jodiene por todo o carinho e amizade no decorrer desses anos, sem vocês essa rotina exaustiva não teria graça nenhuma. Vocês são minha família, amo todos!

À Matheus Domingos e Inez Domingos, por todo o apoio, acolhimento, amor e carinho nessa reta final. Vocês foram a melhor coisa que aconteceu comigo nesse último ano e sempre vão ficar guardados comigo! Amo muito vocês.

Aos professores Antonio Lucineudo de Oliveira Freire e Diércules Rodrigues dos Santos pela orientação e coorientação, respectivamente, nesta dissertação, pela amizade adquirida e pelos conhecimentos passados que contribuíram na minha formação acadêmica e pessoal.

Aos membros da Banca Examinadora, Prof^a Dr^a Séfora Gil Gomes de Farias e Prof. Dr. Pedro Nicó de Medeiros Neto, pela disponibilidade de participação na banca examinadora e pelas valiosas contribuições.

Às professoras Cheila Deisy Ferreira e Vilma Maria dos Santos pelos trabalhos que foram confiados a mim enquanto trabalhamos juntas.

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

Aos funcionários do Viveiro Florestal, pelo carinho e disponibilidade ao longo de todo esse tempo

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu chegasse até aqui, meus sinceros agradecimentos.

Pois sabendo que o Senhor estava comigo,
criei coragem.

Esdras 7:28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Mapa indicando a localização da condução do experimento	37
Figura 2 — Avaliação das trocas gasosas com auxílio do IRGA.....	40
Figura 3 — Teor relativo de água foliar (<i>TRA</i>) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).....	42
Figura 4 — Condutância estomática (<i>gs</i>) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).....	44
Figura 5 — Taxa de transpiração (<i>E</i>) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).....	45
Figura 6 — Taxa de fotossíntese (<i>A</i>) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).....	46
Figura 7 — Concentração intercelular de CO ₂ (<i>D</i>) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).....	47
Figura 8 — Eficiência intrínseca do uso da água (<i>EUA_i</i>) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).....	49
Figura 9 — Razão da concentração intercelular e atmosférica de CO ₂ (<i>C_i/C_a</i>) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).....	50
Figura 10 — Altura (cm) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> em função do déficit hídrico	51
Figura 11 — Massa seca da parte aérea (g) (A) e das raízes (g) (B) de mudas de <i>Mimosa tenuiflora</i> em função do déficit hídrico	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Atributos químicos da amostra de solo Neossolo Flúvico utilizado no experimento.....	38
Tabela 2 — Caracterização morfofisiológica dos isolados de <i>Mimosa tenuiflora</i>	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Bioma Caatinga	13
2.2 Estresse hídrico em plantas.....	14
2.3 Descrição da espécie	16
2.4 Bactérias do gênero <i>Rhizobium</i>	18
2.5 Interação <i>Rhizobium</i> e estresse hídrico.....	20
REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DA INOCULAÇÃO COM <i>Rhizobium</i> sp. EM MUDAS DE JUREMA-PRETA (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poiret) SOB DÉFICIT HÍDRICO	32
RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	34
1 INTRODUÇÃO	35
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1 Local da pesquisa	37
2.2 Recipiente e substrato para a produção de mudas.....	37
2.3 Obtenção, identificação morfológica e preparo do meio de inoculação das bactérias.....	38
2.4 Coleta e preparo das sementes, semeadura, inoculação dos rizóbios e tratamentos.....	38
2.5 Parâmetros a serem avaliados.....	39
2.6 Análise Estatística.....	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1 Teor relativo de água foliar (<i>TRA</i>).....	42
3.2 Trocas Gasosas.....	44
3.3 Parâmetros de crescimento e qualidade de mudas	51
3.4 Índice de qualidade de Dickson	53
4 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS.....	54

NONATO, E. R. L. **INOCULAÇÃO COM *Rhizobium* sp. DE MUDAS DE JUREMA-PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) SOB DÉFICIT HÍDRICO.** 2022. Dissertação de mestrado em Ciências Florestais. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Patos – PB, 2022. 61f.

RESUMO

Devido à exploração desordenada da Caatinga por atividades antrópicas e condições climáticas adversas, é necessário a adoção de estratégias que possibilitem aumentar a tolerância das mudas à seca. Dentre essas estratégias, a inoculação das leguminosas com bactérias do gênero *Rhizobium* é de extrema importância, uma vez que essa associação possibilitará às plantas melhores condições de crescimento, exploração da área do solo e, conseqüentemente, maior captação de água. Objetivou-se com a pesquisa analisar o comportamento fisiológico de mudas jovens de jurema-preta, inoculadas com rizóbio, e sob duas condições de disponibilidade hídrica. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 5 x 2, correspondendo a cinco inoculações e dois tratamentos hídricos. As mudas foram mantidas em 40 vasos de polipropileno com capacidade para 3,0 dm³ de substrato. Avaliou-se as trocas gasosas, Teor Relativo de Água (TRA), parâmetros qualidade das mudas (altura, massa seca, nodulação e teor de nitrogênio) e Índice de qualidade de Dickson (IQD). Concluiu-se que a inoculação com o isolados de rizóbio CA19PT e a adubação nitrogenada influenciam positivamente as trocas gasosas, não interferindo, no entanto, no crescimento, produção de biomassa, qualidade das mudas, nodulação e teor de nitrogênio da parte aérea da planta. A condição hídrica de 40%cp reduz a transpiração e a fotossíntese, com reflexos negativos na altura e no acúmulo de massa seca das mudas, contudo, sem afetar a qualidade das mudas. As mudas de jurema-preta acumulam mais biomassa nas raízes em detrimento da parte aérea, quando submetidas ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Rizóbio. Qualidade de mudas. Trocas gasosas. Estresse hídrico.

NONATO, E. R. L. **INOCULATION WITH *Rhizobium* sp. OF SEEDS OF JUREMA PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) UNDER WATER DEFICIT.** 2022. Master dissertation in Forestry Sciences. Universidade Federal de Campina Grande, Health and Rural Technology Center, Patos – PB, 2022. 61pgs.

ABSTRACT

Due to the disorganized exploitation of caatinga by anthropic activities and adverse climatic conditions, it is necessary the adoption of strategies that make possible to increase the tolerance of seedlings to drought. Among these strategies, the inoculation of legumes with bacteria of the *Rhizobium* genus is of extreme importance, since this association will allow plants to have better growth conditions, exploration of the soil area and, consequently, greater water uptake. The objective of this research was to analyze the physiological behavior of young seedlings of jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), inoculated with rhizobium, and under two conditions of water availability. The experiment was conducted in an entirely randomized design, factorial scheme 5 x 2, corresponding to five inoculations and two water treatments. The seedlings were kept in 40 polypropylene pots with capacity for 3.0 dm³ of substrate. Gas exchange, Relative Water Content (RWC), seedling quality parameters (height, dry mass, nodulation and nitrogen content) and Dickson Quality Index (DQI) were evaluated. It was concluded that inoculation with the rhizobium isolate CA19PT and nitrogen fertilization positively influence gas exchange, but did not interfere with growth, biomass production, seedling quality, nodulation and nitrogen content of the aerial part of the plant. The hydric condition of 40%cp reduces transpiration and photosynthesis, with negative reflections on the height and dry mass accumulation of the seedlings, however, without affecting the quality of the seedlings. The jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) seedlings accumulate more biomass in the roots to the detriment of the aerial part, when submitted to water deficit.

Keywords: Rhizobium. Seedling quality. Gas exchange. Water stress.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga, bioma predominante no nordeste do Brasil, é constituído principalmente por árvores de pequeno porte e arbustos ramificados, frequentemente dotados de espinhos ou acúleos, geralmente com folhas pequenas, entremeados com plantas suculentas (geralmente cactos) e bromélias (FERNANDES; QUEIROZ, 2018). Sua vegetação é fortemente sazonal, apresentando deciduidade na maior parte de suas árvores e arbustos como uma característica marcante.

Neste contexto, encontra-se a região semiárida do Brasil, caracterizada por apresentar elevadas temperaturas e taxas de evaporação, além de baixos índices pluviométricos, distribuídos em cerca de três a cinco meses do ano, com predominância de secas periódicas (TROVÃO *et al.*, 2007). Tais fatores predisõem as plantas a déficits hídricos periódicos e severos, e para sobreviver sob tais condições, desenvolvem estratégias visando aumento na capacidade de absorção e armazenamento de água, além de reduzir a sua perda por transpiração. Essas estratégias são de natureza anatômica, morfológica, fisiológica e bioquímica, e quanto maior a habilidade das plantas no desenvolvimento de tais mecanismos, maior a capacidade de tolerar essas condições adversas.

Apesar de toda sua importância ecológica e econômica, a vegetação da região vem sendo explorada de maneira desordenada e predatória, o que tem causado preocupação tanto aos pesquisadores quanto àqueles que vivem da extração destes recursos de forma ordenada. Essa remoção da vegetação nativa através de ciclos de corte incorretos e inadequados, além da queima e remoção da parte superior do solo, tem ocasionado perda de matéria orgânica e nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, dentre eles o nitrogênio (N) (VITOUSEK; HOWARTH, 1991). Para a reposição deste nutriente, uma das alternativas é a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que transforma o nitrogênio atmosférico (N₂) indisponível aos vegetais em condições assimiláveis, favorecendo o crescimento das plantas.

Sabe-se que em ecossistemas naturais, a FBN acontece em maior escala através da relação simbiótica entre as leguminosas e bactérias do gênero *Rhizobium* (GALLOWAY *et al.*, 2004). Isso permite que plantas arbóreas da família Fabaceae apresentem maior crescimento quando comparadas com plantas de outras famílias, em ambientes da mesma natureza ou com baixa quantidade de nitrogênio. A vegetação da Caatinga apresenta uma ampla diversidade de plantas leguminosas,

que tem capacidade de fixar nitrogênio, entretanto, estas plantas foram pouco estudadas sob esse aspecto.

A jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), da família Fabaceae, é uma das espécies mais representativas da Caatinga, com elevada tolerância à seca e devido à sua rusticidade e rápido crescimento, é promissora para trabalhos de reflorestamento, principalmente de áreas degradadas. Sua madeira possui elevado potencial energético devido ao baixo teor de cinzas, alto valor de poder calorífico, densidade, e carbono fixo, além de ser utilizada para alimentação animal (BAKKE *et al.*, 2018).

Devido à exploração desordenada da Caatinga por atividades antrópicas, levando ao aumento nos índices de desertificação em diversas áreas, e da baixa disponibilidade de água, são necessários projetos de reflorestamento. Contudo, para a obtenção de sucesso desses projetos, a utilização de mudas de elevada qualidade e a adoção de estratégias que possibilitem aumentar a tolerância das mudas à seca durante a fase posterior à sua transferência para o campo é essencial.

Dentre essas estratégias, a inoculação das leguminosas com bactérias do gênero *Rhizobium* é de extrema importância, uma vez que essa associação possibilitará às plantas melhores condições de crescimento, ampliação do seu sistema radicular, explorando maior área de solo e, conseqüentemente, maior captação de água. Além de acelerar o processo do crescimento das plantas, também melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo. No entanto, é necessário que se conheça qual a estirpe que possibilite maior eficiência na fixação do nitrogênio para a espécie utilizada, notadamente sob condições limitadas de disponibilidade hídrica.

Além disso, em um cenário de mudanças climáticas, em que as previsões para as regiões áridas e semiáridas do planeta não são nada favoráveis, adotar estratégias que possibilitem aumentar a tolerância das plantas à seca é extremamente necessário. Dessa forma, este trabalho visa responder às seguintes perguntas: (a) Qual estirpe de *Rhizobium* sp. possibilita as mudas de jurema-preta melhores condições de crescimento, sob baixa disponibilidade hídrica no substrato? e (b) como as mudas se comportarão em termos de trocas gasosas, diante desta interação?

Objetivou-se com a realização do trabalho analisar o comportamento fisiológico de mudas de jurema-preta, inoculadas com rizóbio, e sob duas condições de disponibilidade hídrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bioma Caatinga

O Nordeste brasileiro apresenta um clima semiárido, com temperatura média de 25°C a 30°C, precipitação média de 800 mm.ano⁻¹ que ocorre em um curto período de tempo, variando de três a cinco meses no primeiro semestre do ano, com chuvas torrenciais e irregulares (PEREIRA FILHO; BAKKE, 2010), e estação seca entre sete a nove meses (MAIA, 2004).

Correspondendo a 11% do território brasileiro, a Caatinga é o único bioma que se encontra exclusivamente no Brasil, localizando-se na região Nordeste e pequena parte da região Sudeste. Este bioma apresenta uma vegetação com características xerofíticas no que diz respeito à fitofisionomia e estrutura (LIMA, 2010).

Segundo Ab'Sáber (2005), a Caatinga abrange cerca de 850.000 km² do nordeste brasileiro e tem como características: solo pedregoso, clima com alta radiação solar e baixa nebulosidade, baixa umidade relativa, vegetação com florestas arbustivas ou arbóreas e grande presença de cactáceas (PRADO, 2003; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Esse bioma é singular e apresenta uma das florestas secas mais ricas do mundo em biodiversidade, dotada de flora e fauna com um alto grau de heterogeneidade (PAREYN, 2010). De acordo com Meiado (2014), o termo Caatinga origina-se do Tupi-Guarani e significa “mata-branca”, em virtude do aspecto da sua vegetação durante a época de seca, quando ocorre a queda total das folhas, restando apenas os troncos brancos-acinzentados das árvores e arbustos destacando-se na paisagem.

O aspecto da vegetação caracteriza-se por herbáceas de ciclo curto, espécies arbóreas e arbustivas com folhas pequenas, caducifólias ou modificadas em espinhos, reduzindo assim a evapotranspiração causada pelo longo período de estiagem, além de proteger a planta contra a predação, e sementes com dormência (ABÍLIO; GOMES; SANTANA, 2010). Estes autores relatam ainda a presença de plantas das famílias botânicas Cactaceae, Bromeliaceae e Fabaceae com raízes superficiais, que possibilitam aumentar a absorção da água da chuva, podendo ainda armazenar água em seus caules.

De acordo com Santos (2019), a Caatinga apresenta um significado muito forte para os habitantes da região Nordeste, pois é através da sua exploração que os agricultores obtêm renda para manutenção de suas famílias e sua subsistência. Observa-se, que a exploração da caatinga tem como finalidade básica a produção de energia, na forma de lenha e carvão vegetal, além do potencial uso forrageiro e produção de mel (PEREIRA *et al.*, 2013).

Entretanto, o uso muitas vezes inadequado dos seus recursos naturais para o consumo de frutos, produção de lenha e carvão, bem como a exploração inadequada de áreas para pecuária e agricultura comprometem o banco de sementes (VELOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002). Segundo estes pesquisadores, esse fato dificulta a regeneração natural, acelera o processo de desertificação ou aumento de áreas com solos inférteis, resultando na perda do patrimônio genético da flora da Caatinga.

Tais aspectos reforçam a necessidade da realização de pesquisas que visem a restauração deste Bioma, levando em consideração aspectos de caráter social, ambiental e econômico (SANTOS *et al.*, 2011).

2.2 Estresse hídrico em plantas

A água é uma das principais e mais abundantes substâncias presentes na superfície terrestre, sendo o meio responsável pelo desenvolvimento de toda atividade celular (LEHNINGER; NELSON; COX, 2006). Considerado o principal constituinte vegetal, compondo cerca de 50% da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95% nas herbáceas, a água é importante para a turgescência das células e tecidos e para o transporte de solutos (FIGUEIRÔA; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004).

Juntamente com a temperatura, a água é o recurso decisivo para o funcionamento e crescimento efetivo das plantas, uma vez que constitui a matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida dos vegetais, ao mesmo tempo que é considerado o recurso mais limitado (LEHNINGER; NELSON; COX, 2006).

Tanto o excesso como a falta de água podem ocasionar danos às plantas. No entanto, segundo Cavalcante, Cavallini e Lima (2009), o estresse ocasionado por deficiência é mais usual, afetando, principalmente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas, causando alterações anatômicas, morfológicas,

fisiológicas e bioquímicas (MARENCO; LOPES, 2005). A escassez de água é considerada um dos fatores de grande impacto na produtividade agrícola e florestal, sendo o principal na distribuição das espécies em diferentes regiões climáticas do mundo (PIMENTEL, 2004).

Define-se estresse hídrico como uma irregularidade nas condições normais para a vida da planta, causando assim, mudanças no organismo. A princípio, essas mudanças podem ser reversíveis, contudo, em alguns casos podem tornar-se permanentes (BLUM; JOHNSON; RAMSEUR, 1991).

Os efeitos do estresse hídrico variam desde a redução no potencial hídrico foliar e conteúdo relativo de água a um declínio acentuado na taxa fotossintética (FAROOQ *et al.*, 2009). Esse declínio pode ocorrer devido a fatores estomáticos, em consequência da redução na condutância estomática, restringindo as trocas gasosas entre a planta e o meio externo, ou por fatores não estomáticos, como decréscimo da atividade enzimática do ciclo de Calvin (MONAKHOVA; CHERNYAD'EV, 2004). Costa *et al.* (2015) e Ramos e Freire (2019) relataram que o déficit hídrico promoveu rápido fechamento dos estômatos, reduzindo a condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese das plantas de aroeira (*Astronium urundeuva* Allemão) e favela (*Cnidioscolus phyllacanthus* (Müll.Arg.)), respectivamente.

De acordo com Taiz *et al.* (2017), a redução na disponibilidade de água no solo acarreta a redução na turgescência da célula, diminuindo sua área foliar o que é considerado como um dos efeitos mais graves do déficit hídrico, pois ocasiona um decréscimo na fotossíntese, reduzindo assim, o crescimento das plantas. Além disso, ocorre uma redução na produção de massa seca das plantas, devido sua influência na absorção de dióxido de carbono (CO_2). Stape (2002) enfatiza que, em espécies florestais, a deficiência hídrica leva à redução da produtividade da madeira. A relação entre a disponibilidade hídrica e a produtividade florestal pode estar diretamente relacionada à diminuição da taxa fotossintética, pois, a deficiência de água aumenta a resistência estomática e reduz a produção de biomassa.

Em regiões mais secas, muitas plantas utilizam de mecanismos fisiológicos e anatomo-morfológicos para evitar a perda de água, tais como: alteração na espessura foliar, fechamento dos estômatos, evitando assim a perda excessiva de água, e, conseqüentemente, perda da turgescência (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013), redução na taxa de transpiração (CALBO; MORAES, 2000), diminuição da área foliar (TAIZ;

ZEIGER, 2009), caducifolia (CAVALCANTE; CAVALLINI; LIMA, 2009) e ajustamento osmótico. Esse proporciona decréscimo no potencial osmótico celular, garantindo a absorção de água e pressão de turgescência celular, que podem contribuir para a manutenção de processos fisiológicos essenciais, como abertura dos estômatos, fotossíntese e expansão celular (MONTEIRO *et al.*, 2014).

No entanto, segundo Bezerra *et al.* (2003) e Pessoa, Freire e Costa (2017), as respostas das plantas a escassez de água podem variar dependendo da espécie vegetal, da idade das plantas, da duração, da época de ocorrência e o grau de déficit imposto. Esses últimos pesquisadores relataram que o déficit hídrico reduziu de maneira rápida e progressiva o conteúdo relativo de água, a condutância estomática, a transpiração, a eficiência de carboxilação e a fotossíntese das plantas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC)).

Portanto, a capacidade de lidar com a escassez de água, bem como o grau de tolerância e as estratégias de adaptação são importantes determinantes na seleção natural das plantas e sua distribuição (OLIVEIRA; BRAGA; WALKER, 2015). Assim, uma vez que a água é um fator limitante para o crescimento das plantas, torna-se fundamental o desenvolvimento de pesquisas que visem promover a recomposição de áreas degradadas ou extremamente afetadas pela seca com espécies nativas resistentes, com o propósito de evitar que os impactos causados contribuam para processos de degradação do Bioma (SANTOS *et al.*, 2016)

2.3 Descrição da espécie

A família Fabaceae Lindl. pertence à ordem Fabales (APG III, 2009) e é amplamente distribuída, abrangendo 727 gêneros e aproximadamente 19.325 espécies (THE LEGUME PHYLOGENY WORKING GROUP, 2017). É a terceira maior família sendo uma das mais importantes das angiospermas e seus representantes são localizados em praticamente todas as formações vegetais do planeta, embora o foco seja a região neotropical (LAVIN *et al.*, 2004).

No Brasil, é a família mais representativa, com 2.807 espécies agrupadas em 222 gêneros (15 endêmicos), muitas das quais atuam de forma direta na composição da vegetação nativa e, portanto, são importantes para o equilíbrio do ecossistema, representando a riqueza de espécies e a abundância em quase todos os biomas e ecossistemas do país (THE BRAZIL FLORA GROUP, 2015).

As plantas da família Fabaceae são caracterizadas pela emissão de vagem e formação de nódulos em suas raízes, os quais fixam nitrogênio do ar atmosférico com o auxílio de microrganismos (SANTOS, 2019).

A espécie *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret, mais conhecida como jurema-preta, é uma espécie arbórea pioneira, decídua e heliófila, nativa do Bioma Caatinga, pertencente à família botânica Fabaceae, que ocorre em quase toda a região nordeste, porém, não de forma endêmica. Além disso, é encontrado fora do Brasil, em áreas no norte da Venezuela, na Colômbia, nas regiões secas no sul do México, Honduras e El Salvador (AZEVEDO *et al.*, 2012).

Os nomes populares dessa espécie são calumbi, jurema e jurema-preta (LORENZI, 1998), e em espanhol, é chamada de *cárbon colorado* ou *tepescohuite* (FLORA DO BRASIL, 2020). Além disso, possui como características botânicas rápido crescimento atingindo 5-7 metros de altura (PEREIRA *et al.*, 2013), copa delgada e irregular, diâmetro do tronco de 20-30cm revestido de casca áspera que se desprende em lâminas estreitas (LORENZI, 1998).

As folhas são compostas, bipinadas com 4-7 pares de pinas de 2-4cm, nas quais estão presentes 15-33 pares de folíolos de 5-6mm que caem durante a estação seca e rebrotam logo com as primeiras chuvas. Suas inflorescências são em espigas isoladas ou geminadas de 4-8cm, compostas por flores brancas e fruto vagem tardiamente deiscente de 2,5-5,0cm, contendo 4-6 sementes que possuem dormência física podendo ser anulada por variação de temperatura ambiente, ação de agentes microbianos, ou por ingestão animal (LORENZI, 1998; PEREIRA *et al.*, 2013; BAKKE *et al.*, 2018).

A presença de indivíduos sem acúleos é observada em 17% dos indivíduos de populações nativas desta espécie (BAKKE *et al.*, 1995), constituindo um caráter recessivo e passível de fixação pela coleta de sementes produzidas em plantios de exemplares sem acúleos (ARRIEL *et al.*, 2000).

A jurema-preta possui diversas finalidades, como: corantes para tecidos de algodão (ERKAN; SENGUL; KAYA, 2014), produção de bioenergia (ARAÚJO FILHO, 2013), produção de taninos (LOPES *et al.*, 2015), produção de mel (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2009), alimentação animal (BAKKE *et al.*, 2006), recuperação de áreas degradadas (FIGUEIREDO *et al.*, 2012), produção de estacas de madeira para construção rural e uso com finalidades farmacêuticas para animais e seres humanos (VALENCIA-GÓMEZ *et al.*, 2016).

Apesar das finalidades e atributos, algumas características do solo (como acidez, seca e salinidade) em climas semiáridos podem afetar severamente o rendimento das plantas de *Mimosa tenuiflora*. Esse problema pode ser minimizado pela simbiose com bactérias diazotróficas nativas, garantindo maior capacidade de produção destas plantas através do aumento do nitrogênio fixado pelos rizóbios (FREITAS; FERNANDES JÚNIOR, 2021).

Assim, devido à habilidade de fixar o nitrogênio e ao seu rápido crescimento, apresenta-se com uma espécie essencial para a restauração florestal de áreas muito devastadas e solos erodidos, promovendo rápida recuperação da fertilidade do solo e ajudando no crescimento das demais espécies vegetais (PEREIRA *et al.*, 2013).

A forragem verde produzida pela jurema-preta é consumida por caprinos, ovinos e bovinos, especialmente na forma das rebrotas mais jovens no início das chuvas até a fase de vegetação plena (CORDÃO *et al.*, 2012).

Bakke *et al.* (2018) ratificam a contribuição das leguminosas arbóreo-arbustivas da Caatinga, entre elas a jurema-preta para os sistemas de produção e sustentabilidade da pecuária, constituindo um importante recurso forrageiro especialmente nas épocas mais secas na região semiárida do Nordeste brasileiro.

Lima, Lima e Drumond (2003) e Figueiredo (2010) observaram em seus estudos que espécies como a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) e favela (*Cnidoscolus quercifolius* Pohl.) apresentam bons resultados de sobrevivência, desenvolvimento, produção e regeneração na recuperação de áreas degradadas do semiárido.

Sendo assim, a jurema-preta vem a ser uma solução eficaz para geração de emprego e renda adicional, na época de entressafra, para agricultores e habitantes da região Nordeste, pois a rusticidade da espécie supera as condições adversas do meio (SANTOS, 2019).

2.4 Bactérias do gênero *Rhizobium*

Na biodiversidade encontram-se os microrganismos que apresentam fundamental importância no equilíbrio dos ecossistemas, participando dos processos biogeoquímicos e na ciclagem de nutrientes, contribuindo diretamente na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, apesar de serem sensíveis às ações antrópicas (BARBOSA, 2013). Entre os grupos dos principais microrganismos

com tais funções, encontram-se as bactérias do gênero *Rhizobium* (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

Alojados em nódulos radiculares, as bactérias deste gênero fornecem nitrogênio às plantas em troca dos carboidratos produzidos através da fotossíntese, além do uso de outros mecanismos como o estímulo ao crescimento e à resistência das plantas tanto das plantas da família Fabaceae quanto das demais famílias (YANNI; DAZO, 2010).

Os nódulos, estruturas especializadas em alojar a nitrogenase, são formados por rizóbios do solo que colonizam as raízes atraídos por sinais químicos dos exsudatos liberados pelas leguminosas hospedeiras, ativando o gene da nodulação da bactéria (BARBOSA, 2013).

Após a colonização, os nódulos se multiplicam ao redor dos pelos radiculares, curvando-se e envolvendo esses rizóbios formando um cordão infeccioso em direção às células corticais, onde são transformados em bacteróides e, em seguida nos nódulos. No entanto, nem todas as bactérias que estão dentro dos nódulos são transformadas em bacteróides, permanecendo na forma de bacilos, multiplicando e migrando para outras plantas após a senescência dos nódulos radiculares. (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

Suas principais funções incluem a proteção contra pragas e doenças, resistência a fatores climáticos, capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio da relação simbiótica planta-bactéria, produção de hormônios vegetais (principalmente auxinas que aumentam crescimento do sistema radicular e consequentemente a capacidade de absorver nutrientes), e a solubilização de fosfato (YANNI; DAZO, 2010).

Bactérias do gênero *Rhizobium* podem viver em solos de diversos ambientes, desde áreas de temperaturas amenas a ambientes áridos e semiáridos, utilizando diferentes fontes de energia para seu metabolismo. Assim, constata-se a tolerância desses microrganismos a condições adversas e o fortalecimento das plantas sob condições idênticas (VIEIRA *et al.*, 2008).

Os solos da região semiárida do Nordeste brasileiro apresentam baixos teores de nitrogênio, fato que demonstra a importância da associação de leguminosas com essas bactérias, proporcionando a aquisição deste nutriente através da fixação biológica do nitrogênio (FBN) atmosférico pelas plantas (SANTOS *et al.*, 2008). No entanto, para otimizar a FBN, a seleção de cepas bacterianas eficazes e competitivas

para cada espécie vegetal é essencial para o uso em programas de reflorestamento. Com isso, é possível substituir parcial ou totalmente o uso de nitrogênio mineral, diminuindo custos de reflorestamento e melhorando a qualidade do solo a longo período (FRANCO *et al.*, 1996).

Estudos realizados por Almeida, Vasconcelos e Freire (1991), e Franco e Faria (1997) demonstraram aumento na nodulação nas raízes e na produção de matéria seca da jurema-preta com a inoculação de *Rhizobium*. Resultado semelhante foi obtido por Dias *et al.* (2019), onde as mudas de jurema-preta apresentaram resistências aos estresses hídricos quando inoculadas com rizóbios nativos do semiárido. Contrariamente, também em plantas desta espécie, Carvalho, Santos e Silva (2019) relataram a interferência de benefícios das bactérias do gênero *Rhizobium* no desenvolvimento das mudas devido a ausência de nodulação decorrente das condições de degradação do solo utilizado no experimento.

Em angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), Santos *et al.* (2008) observaram que os tratamentos inoculados com rizóbios nativos foram suficientes para suprirem as necessidades nutricionais de N e de P das mudas. Menezes *et al.* (2017), observaram que as mudas de mulungu (*Erythrina velutina* Willd.) são capazes de estabelecer associações com bactérias do gênero *Rhizobium* em solos semiáridos brasileiros.

A nodulação também beneficiou mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) favorecendo seu crescimento (MOREIRA *et al.*, 2012). Além disso, Barbosa (2013) observou que a inoculação influenciou no crescimento das mudas de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), melhorando sua qualidade e estabelecimento das espécies em campo.

2.5 Interação *Rhizobium* e estresse hídrico

Em regiões áridas e semiáridas do mundo, a escassez de água é uma grande ameaça à produtividade agrícola e florestal. O déficit pode causar desequilíbrio hormonal, reduzir a fotossíntese e levar à deficiência de nutrientes, ocasionando um declínio na vitalidade e na produção da planta (ASGHAR *et al.*, 2015).

Salienta-se ainda que a seca promove efeitos adversos no crescimento e desenvolvimento das plantas, inibindo a expansão e proliferação das raízes primárias

e secundárias, e reduzindo o peso fresco e seco das mudas (YAN; SHI, 2013). Além disso, causa alterações em vários processos bioquímicos e fisiológicos, incluindo metabolismo de nutrientes, absorção de íons essenciais, respiração, translocação de carboidratos e fotossíntese (FAROOQ *et al.*, 2012).

No entanto, as interações benéficas das plantas com microrganismos podem melhorar a adaptabilidade das plantas sob vários estresses ambientais, incluindo o estresse hídrico (ALI *et al.*, 2017). As bactérias do gênero *Rhizobium* são conhecidas por sua associação simbiótica benéfica com leguminosas e fixação de nitrogênio atmosférico ao formar nódulos nas raízes.

Tem sido relatado que esta associação ameniza os impactos adversos dos estresses, induzindo tolerância nas plantas a estas condições adversas, proporcionando retorno econômico e sustentabilidade ambiental (HUSSAIN *et al.*, 2018). Esta capacidade de proporcionar aumento na tolerância das plantas sob estresse advém do fato da associação planta-*Rhizobium* proporcionar aumento na produção de osmólitos, antioxidantes, proteínas de estresse e exopolissacarídeos (HUSSAIN *et al.*, 2014). Além disso, causa mudanças bioquímicas e fisiológicas positivas nas plantas por meio de diversas atividades para promover o crescimento, as quais podem aumentar sua capacidade de crescer sob condições de seca (YANG; KLOEPPER; RYU, 2009).

Entretanto, apesar dos benefícios, alguns fatores que afetam o desenvolvimento da planta podem alterar a formação e o crescimento de nódulos. Uma diminuição do potencial hídrico do solo pode afetar acentuadamente os pelos das raízes e retardar o crescimento dos nódulos e a fixação N₂. Uma vez formados os nódulos, o estresse hídrico também pode causar alterações morfológicas e fisiológicas, alterações na forma celular no córtex onde as células eram densamente empacotadas, levando à redução dos espaços de ar e subsequente redução da barreira de difusão de O₂ para o tecido central (RAMOS *et al.*, 1999).

Diversos pesquisadores têm demonstrado os efeitos da inoculação de grãos com rizóbio em termos de melhoria do crescimento e da produtividade sob estresse hídrico, incluindo o arroz (HUSSAIN *et al.*, 2009), o trigo (ASGHAR *et al.*, 2015), e o milho (HUSSAIN *et al.*, 2016). No entanto, o conhecimento sobre a simbiose em espécies de leguminosas lenhosas, a distribuição de rizóbios em ecossistemas naturais, ambientes áridos e semiáridos, e as alterações na estrutura dos nódulos das leguminosas sob estresse hídrico ainda é bastante limitado (SHETTA, 2015). Em

estudo conduzido por Mrema, Granhall e Sennerby-Forsse (1997) com leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), foi observado que as bactérias fixadoras de nitrogênio aumentaram a tolerância das mudas ao estresse. Nas mesmas condições, Shetta (2015) encontrou resultados semelhantes nas mudas de acácia origena (*Vachellia origena* (Hunde) Kyal. & Boatwr.).

Pesquisas realizadas por Santos *et al.* (2013) demonstraram que as bactérias fixadoras de nitrogênio apresentam um grande potencial quando estão em simbiose com as espécies forrageiras da região semiárida.

Sendo assim, faz-se necessário estudos mais atuais e com ampla diversidade de espécies lenhosas nativas sob condições de estresse para promover um maior desenvolvimento científico.

REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, F. J. P.; GOMES, C.S.; SANTANA, A.C.D. Bioma Caatinga: caracterização e aspectos gerais. *In*: ABÍLIO, F. J. P. **Bioma Caatinga: ecologia, biodiversidade, educação ambiental e práticas pedagógicas**. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2010, p.13-30.
- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas**. 3. ed. São Paulo: Atelie, 2005. 160 p.
- 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 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100002>.
- ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; EL-DEIR, A. C. A.; LIMA, A. L. A.; SOUTO, A.; BEZERRA, B. M.; FERRAZ, E. M. N.; FREIRE, E. M. X.; BARRETO, E. V. S. B.; LAS-CASAS, F. M. G.; MOURA, G. J. B.; PEREIRA, G. A.; MELO, J. G.; RAMOS, M. A.; RODAL, M. J. N.; SCHIEL, N.; LYRA-NEVES, R. M.; ALVES, R. R. N.; AZEVEDO JÚNIOR, S. M.; TELINO JÚNIOR, W. R.; SEVERI, W. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **Scientific World Journal**, v. 2012, n. 3, p. 18, 2012. DOI <http://dx.doi.org/10.1100/2012/205182>.
- ALI, Q.; ZAHIR, Z. A.; ASGHAR, H. N.; JAMIL, A. Inoculation with Rhizobial consortium for improving the growth, yield and quality of Maize under salt-stressed conditions. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v. 54, n. 1, p. 97-105, 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.21162/PAKJAS/17.5388>.
- ALMEIDA, R. T.; VASCONCELOS, I.; FREIRE, V. F. Efeitos de níveis de fosfato de rocha e da inoculação de *Rhizobium sp.* e *Glomus macrocarpum* Tul. sobre o desenvolvimento da jurema preta. **Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 22, n. 1/2, p. 1-5, 1991.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 491-499, 2009. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300011>.
- APG III – Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p. 105-121, 2009. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife: Projeto Dom Elder Câmara, 2013. 195 p.
- ARRIEL, E. F.; BAKKE, O. A.; LEITE, J. A. N.; ARAÚJO, L. V. C.; PAULO, M. C. S. Ganho realizado na característica acúleos em Jurema Preta (*Mimosa hostilis*, Benth), no segundo ciclo seletivo. *In*: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO

INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6, 2000, Porto Seguro. **Resumos técnicos**. Rio de Janeiro: Instituto Ambiental Biosfera, 2000. p.130-131.

ASGHAR, H. N.; ZAHIR, Z. A.; AKRAM, M. A.; AHMAD, H. T.; HUSSAIN, M. B. Isolation and screening of beneficial bacteria to ameliorate drought stress in wheat. **Soil and environment**, Faisalabad, v. 34, n. 1, p. 100-110, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Akram-91/publication/277247837_Isolation_and_screening_of_beneficial_bacteria_to_ameliorate_drought_stress_in_wheat/links/5564b2c208ae06101abdfac7/Isolation-and-screening-of-beneficial-bacteria-to-ameliorate-drought-stress-in-wheat.pdf.

AZEVEDO, S. M. A.; BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A.; FREIRE, A. L. O. Crescimento de plântulas de Jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) 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.; PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, D. S. *Mimosa tenuiflora*: jurema-preta. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. **C. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Brasília: MMA, 2018. cap. 5, p. 569-577.

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>.

BAKKE, O. A.; ARRIEL, E. F.; LUCENA, C. M. B.; SILVA, A. P. B. B. Ocorrência de jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd). Poiret) sem acúleos em populações nativas. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 18, n. 3, p. 129, 1995.

BARBOSA, M. V. **Utilização de rizóbios e fungo micorrízico para implantação de um sistema agroflorestal no Semiárido Pernambucano**. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2013, 77 p. Disponível em: http://www.pgpv.ufpe.br/sites/www.pgpv.ufpe.br/files/documentos/marisangela_viana_barbosa.pdf.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/site/down.php?arq=02rca34-1.pdf>.

BLUM, A.; JOHNSON, J.W.; RAMSEUR, E.L. The effect of a drying topsoil and a possible non-hydraulic root signal on wheat growth and yield. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 10, p. 1225-1231, 1991. DOI <https://doi.org/10.1093/jxb/42.10.1225>.

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 225-230, 2000. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-84042000000300001>.

CARVALHO, F. G.; SANTOS, I. S.; SILVA, A. J. N. Avaliação da inoculação de *Rhizobium* e da adição do extrato de algas marinhas no desenvolvimento de mudas de Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*) em solo de área degradada da caatinga. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 10, n. 4, p. 248-260, 2019. DOI <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0019>.

CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMA, N. R. C. B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. 1. ed. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2009. 50 p.

CORDÃO, M. A.; BAKKE, O. A.; PEREIRA, G. M.; SILVA, A. M. A.; BRITO, G. A.; BEZERRA, P. Y. F. Inclusão de ramos e frutos de jurema preta e farelo de palma forrageira na dieta de Ovinos Santa Inês: Revisão. **PUBVET**, Maringá, v. 6, n. 10, p. 1319-1324, 2012. Disponível em: <https://www.pubvet.com.br/artigo/3251/inclusatildeo-de-ramos-e-frutos-de-jurema-preta-e-farelo-de-palma-forrageira-na-dieta-de-ovinos-santa-inecircs-revisatildeo>.

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 <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n4p705>.

DIAS, S. M.; ANDRADE, A. P.; SOUZA, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; BRUNO, R. L. A.; VALENÇA, R. L. Morphophysiology of rhizobia isolated from native forage of fabaceae of the caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 904-914, 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n406rc>.

ERKAN, G.; SENGUL, K.; KAYA, S. Dyeing of white and indigo dyed cotton fabrics with *Mimosa tenuiflora* extract. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 18, n. 2, p. 139-148, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.06.001>.

FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; WAHID, A.; AHMAD, N.; SALLEM, B. A. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 4, p. 237-246, 2009. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00365.x>.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Drought stress in plants: an overview. In: AROCA, R. **Plant responses to drought stress**. Berlin, Heidelberg: Springer- Verlag, 2012. cap. 1, p. 1-33.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>.

FIGUEIREDO, J. M. **Revegetação de áreas antropizadas da Caatinga com espécies nativas**. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Universidade

Federal de Campina Grande, Patos, 2010. 60 p. Disponível em:
<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp127576.pdf>.

FIGUEIREDO, J. M.; ARAÚJO, J. M.; PEREIRA, O. N.; BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A. Revegetation of degraded Caatinga sites. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 24, n. 3, p. 332-343, 2012. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/289266435_Revegetation_of_degraded_caatinga_sites.

FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. L.; STANFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. **Microrganismo e Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. 1. ed. Guaíba: Agrolivros, 2008. 568 p.

FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 573-580, 2004. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000300015>.

FLORA DO BRASIL. *Mimosa* In: **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 29 out. 2020.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. **Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA**. Itaguaí: EMBRAPA-CNPAB, 1996. 71 p.

FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 5-6, p. 897-903, 1997. DOI [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00229-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00229-5)

FREITAS, A. D. S.; FERNANDES JÚNIOR, P. I. Fixação biológica de nitrogênio em agroecossistemas da região Semiárida do Nordeste. In: SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília: Embrapa, 2021. cap. 2, p. 375-408. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224994/1/SolosSustentaveisAgriculturaNordeste2021.pdf>.

GALLOWAY, J. N.; DENTENER, F. J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W.; SEITZINGER, S. P.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C.; GREEN, P. A.; HOLLAND, E. A.; KARL, D. M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A. R.; VÖROSMARTY, C. J. Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future. **Biogeochemistry**, v. 70, n. 1, p. 153-226, 2004. DOI <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0>.

HUSSAIN, M. B.; AHMED, N.; MAHMOOD, S. Rhizobial inoculation for improving growth physiology, nutrition and yield of maize under drought stress conditions. **Pakistan Journal of Botany**, Faisalabad, v. 50, n. 5, p. 1681-1689, 2018. Disponível em: <http://www.pakbs.org/pjbot/papers/1527614105.pdf>.

HUSSAIN, M. B.; MEHBOOB, I.; ZAHIR, Z. A.; NAVEED, M.; ASGHAR, H. N. Potential of *Rhizobium spp.* for improving growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). **Soil and Environment**, Faisalabad, v. 28, n. 1, p. 49-55, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/216307369_Potential_of_Rhizobium_spp_for_improving_growth_and_yield_of_rice_Oryza_sativa_L.

HUSSAIN, M. B.; ZAHIR, Z. A.; ASGHAR, A. N.; ASGHER, M. Can catalase and exopolysaccharides producing rhizobia ameliorate drought stress in wheat?. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 16, n. 1, p. 3-13, 2014. Disponível em: http://www.fspublishers.org/published_papers/87766_..pdf.

HUSSAIN, M. B.; ZAHIR, Z. A.; ASGHAR, H. N.; MUBARAKA, R.; NAVEED, M. Efficacy of rhizobia for improving photosynthesis, productivity, and mineral nutrition of maize. **Clean: soil, air, water**, v. 44, n. 11, p. 1564-1571, 2016. DOI <https://doi.org/10.1002/clen.201500912>.

LAVIN, M.; SCHRIRE, B.; LEWIS, G.; PENNINGTON, R. T.; DELGADO-SALINAS, A.; THULIN, M.; HUGHES, C.; MATOS, A. B.; WOJCIECHOWSKI, M. F. Metacommunity process rather than continental tectonic history better explains geographically structured phylogenies in legumes. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 359, n. 1450, p. 1509-1522, 2004. DOI <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1536>.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006. 1202 p.

LIMA, A. L. A. **Tipos funcionais fenológicos em espécies lenhosas da caatinga, Nordeste do Brasil**. Tese (Doutor em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010. 110 p. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/4759/2/Andre%20Luiz%20Alves%20de%20Lima.pdf>.

LIMA, P. C. F.; LIMA, A. Q.; DRUMOND, M. A. Choice of species for recovering a degraded mining areas in the semiarid zone of Brazil. *In*: LEMONS, J.; VICTOR, R.; SCHAFFER, D. **Conserving biodiversity in arid regions**: best practices in developing nations. Boston: Kluwer Academic Publisher, 2003. p. 299-314.

LOPES, P. J. G.; CALEGARI, L.; CALEGARI, C. C. A.; OLIVEIRA, E.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A. Produtividade em casca e taninos condensados de jurema-preta. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 2, p. 95-101, 2015. DOI <https://doi.org/10.31413/nativa.v3i2.2015>.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998. 352 p. v. 2.

MAIA, G.N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. 1. Ed. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 2 ed. Viçosa: UFV, 2005. 451 p.

MEIADO, M. V. Banco de sementes no solo da Caatinga, uma floresta tropical seca no nordeste do Brasil. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 24, n. 3, p. 39-43, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273635234_Banco_de_sementes_no_solo_da_Caatinga_uma_Floresta_Tropical_Seca_no_Nordeste_do_Brasil.

MENEZES, K. A. S.; ESCOBAR, I. E. C.; FRAIZ, A. C. R.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Genetic variability and symbiotic efficiency of *Erythrina velutina* Willd. root nodule bacteria from the semi-arid region in northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, 2017. DOI <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160302>.

MONAKHOVA, O. F.; CHERNYAD'EV, L. I. Effects of cytokinin preparations on the stability of the photosynthetic apparatus of two wheat cultivars experiencing water deficiency. **Applied Biochemical and Microbiology**, v. 40, n. 6, p. 573-580, 2004. DOI <https://doi.org/10.1023/B:ABIM.0000046993.38857.3e>.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 1, p. 18-25, 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000100003>

MOREIRA, F. T. A.; SANTOS, D. R.; SILVA, G. H.; ALENCAR, L. S. Obtenção de estirpes de rizóbio eficientes na fixação de nitrogênio em tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) (Fabaceae). **HOLOS**, Natal, v. 4, p. 69-79, 2012. DOI <https://doi.org/10.15628/holos.2012.1054>.

MREMA, A. F.; GRANHALL, U.; SENNERBY-FORSSE, L. Plant growth, leaf water potential, nitrogenase activity and nodule anatomy in *Leucaena leucocephala* as affected by water stress and nitrogen availability. **Trees**, v. 12, p. 42-48, 1997. DOI <https://doi.org/10.1007/PL00009695>.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; WALKER, A. M. Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições semiáridas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 525-541, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1031942/1/Anderson2015.pdf>.

PAREYN, F. G. C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de Pernambuco: o papel do manejo florestal sustentável. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão Florestal para a Produção Sustentável de Bens e Serviços no Brasil**. Brasília: MMA, 2010. p.99-115.

PEREIRA FILHO, J. M.; BAKKE, O. A. Produção de forragem de espécies herbáceas da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L.

A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/MMA, 2010. p. 145-159.

PEREIRA, F. C.; MARINHO, I. V.; SILVA, C. R.; ARAÚJO, I. N. S.; NASCIMENTO, R. S. Jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd. Poir.) Fabaceae. Origem, importância, usos, desusos e aptidões voltadas para o Semiárido. In: PEREIRA, F. C.; FURTADO, D. A.; LIMA, A. K. V. O.; SANTANA, M. F. S.; PEREIRA, D. D.; VERAS, R. P. **Recursos naturais do Semiárido: oportunidades agroindustriais e econômicas**. Campina Grande: EDUFCG, 2013. p. 53-84.

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>.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. cap. 1, p. 3-74.

RAMOS, F. R.; FREIRE, A. L. O. Physiological responses to drought of *Cnidoscolus quercifolius* Pohl in semi-arid conditions. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 493-499, 2019. DOI <https://doi.org/10.34062/afs.v6i1.5735>.

RAMOS, M. L. G.; GORDON, A. J.; MINCHIN, F. R.; SPRENT, J. I.; PARSONS, R. Effect of water stress on nodule physiology and biochemistry of a drought tolerant cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annals of Botany**, London, v. 83, n. 1, p. 57-63, 1999. DOI <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0792>.

SANTOS, C. A.; SILVA, N. V.; WALTER, L. S.; SILVA, E. C. A. Germinação de duas espécies da caatinga sob déficit hídrico e salinidade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 219-224, 2016. DOI <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1017>.

SANTOS, D. R.; COSTA, M. C. S.; MIRANDA, J. R. P.; SANTOS, R. V. Micorriza e rizóbio no crescimento e nutrição em N e P de mudas de angico-vermelho. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 76-82, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/228/294>.

SANTOS, I. S. **Avaliação da inoculação de *Rhizobium* e da adição do extrato de algas marinhas no desenvolvimento de mudas de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) em solo de área degradada da Caatinga**. Dissertação (Mestre em ciências ambientais) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. 62 p. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1701/Iranilson%20Silva%20dos%20Santos.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

SANTOS, J. C.; LEAL, I. R.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERNANDES, G. W.; TABARELLI, M. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical

forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011. DOI <https://doi.org/10.1177%2F194008291100400306>.

SANTOS, M. C. M.; SANTOS, D. R.; BAKKE, O. A.; BAKKE, I. A. Ocorrência e atividade de bactérias diazotróficas em forrageiras cultivadas na região semiárida no Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2013. DOI <https://doi.org/10.1177%2F194008291100400306>.

SHETTA, N. D. Influence of drought stress on growth and nodulation of *Acacia origena* (Hunde) inoculated with indigenous *rhizobium* isolated from Saudi Arabia. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 15, n. 5, p. 699-706, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.5.12629>.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northeastern Brazil**. Orientador: Prof. Ph.D. Dan Blinkey. 2002. Tese (Pós-Doutor em Ciências Florestais) - Colorado State University, Fort Collins, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p

TAIZ, L.; ZEIGER, E. MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre, 6. ed., 2017, 858 p.

THE BRAZIL FLORA GROUP. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 1, p. 1085-1113, 2015. DOI <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>.

THE LEGUME PHYLOGENY WORKING GROUP. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. **Taxon**, v. 66, n. 1, p. 44-77, 2017. DOI <https://doi.org/10.12705/661.3>.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 307-311, 2007. DOI <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300010>.

VALENCIA-GÓMEZ, L. E.; MARTEL-ESTRADA, S. A.; VARGAS-REQUENA, C.; RIVERA-ARMENTA, J. L.; ALBA-BAENA, N.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, C.; OLIVAS-ARMENDARÍZ, I. Chitosan *Mimosa Tenuiflora* films as potential cellular patch for skin regeneration. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 93, p. 1217-1225, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.083>.

VELOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. 1. ed. Recife. 2002. 76 p.

VIEIRA, T. T. A.; ROSA, L. S.; VASCONCELOS, P. C. S.; SANTOS, M. M.; MODESTO, R. S. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização-florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 549-558, 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400010>.

VITOUSEK, P. M.; HOWARTH, R. W. Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur?. **Biogeochemistry**, v. 13, n. 2, p. 87-115, 1991. DOI <https://doi.org/10.1007/BF00002772>.

YAN, L.; SHI, Y. Effect of drought stress on growth and development in winter wheat with aquasorb-fertilizer. **Advance Journal of Food Science and Technology**, v. 5, n. 11, p. 1502-1504, 2013. DOI <http://dx.doi.org/10.19026/ajfst.5.3374>.

YANG, J.; KLOEPPER, J.; RYU, C. M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. **Trends in Plant Science**, v. 14, p. 1-4, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004>.

YANNI, Y. G.; DAZZO, F. B. Enhancement of rice production using endophytic strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. trifolii in extensive field inoculation trials within the Egypt Nile delta. **Plant and Soil**, v. 336, n. 1-2, p. 129-142, 2010. DOI <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0454-7>.

CAPÍTULO 1:

INOCULAÇÃO COM *Rhizobium* sp. EM MUDAS DE JUREMA-PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) SOB DÉFICIT HÍDRICO

INOCULAÇÃO COM *Rhizobium* sp. EM MUDAS DE JUREMA-PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) SOB DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar as respostas fisiológicas das mudas de jurema-preta sob déficit hídrico a partir da interação com bactérias do gênero *Rhizobium*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 5 x 2, correspondendo a cinco inoculações e dois tratamentos hídricos. As mudas foram mantidas em 40 vasos de polipropileno com capacidade para 3,0 dm³ de substrato. Avaliou-se as trocas gasosas, Teor Relativo de Água (TRA), parâmetros de qualidade de mudas (altura, diâmetro, massa seca, nodulação e teor de Nitrogênio) e Índice de qualidade de Dickson (IQD). Não foi observada interação significativa entre os tratamentos, assim como não houve diferença significativa da inoculação na nodulação, teor de N, parâmetros de crescimento (altura, diâmetro do caule, produção de massa seca das mudas) e IQD. Quanto ao tratamento hídrico, não houve efeito significativo sobre a nodulação, teor de N, diâmetro do caule, produção de massa seca total e IQD. Concluiu-se que a inoculação com o isolados de rizóbio CA19PT e a adubação nitrogenada influenciam positivamente as trocas gasosas, não interferindo, no entanto, no crescimento, produção de biomassa, qualidade das mudas, nodulação e teor de nitrogênio da parte aérea da planta. A condição hídrica de 40%cp reduz a transpiração e a fotossíntese, com reflexos negativos na altura e no acúmulo de massa seca das mudas, contudo, sem afetar a qualidade das mudas. As mudas de jurema-preta acumulam mais biomassa nas raízes em detrimento da parte aérea, quando submetidas ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Déficit hídrico. Caatinga. Rizóbio. Respostas fisiológicas

INOCULATION WITH *Rhizobium* sp. OF SEEDS OF JUREMA PRETA (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) UNDER WATER DEFICIT

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the physiological responses of jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) seedlings under water deficit from the interaction with bacteria of the *Rhizobium* genus. The experiment was conducted in an entirely randomized design, factorial scheme 5x2, corresponding to five inoculations and two water treatments. The seedlings were kept in 40 polypropylene pots with capacity for 3.0 dm³ of substrate. Gas exchange, Relative Water Content (RWC), seedling quality parameters (height, diameter, dry mass, nodulation and Nitrogen content) and Dickson Quality Index (DQI) were evaluated. No significant interaction was observed among treatments, as well as there was no significant difference of inoculation on nodulation, N content, growth parameters (height, stem diameter, seedling dry mass production) and DQI. As for the water treatment, there was no significant effect on nodulation, N content, stem diameter, total dry mass production and DQI. It was concluded that inoculation with the rhizobium isolate CA19PT and nitrogen fertilization positively influence gas exchange, but did not interfere with growth, biomass production, seedling quality, nodulation and nitrogen content of the aerial part of the plant. The hydric condition of 40%cp reduces transpiration and photosynthesis, with negative reflections on the height and dry mass accumulation of the seedlings, however, without affecting the quality of the seedlings. The seedlings of jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret) accumulate more biomass in the roots to the detriment of the aerial part, when submitted to water deficit.

Keywords: Water deficit. Caatinga. Rhizobium. Physiological responses

1 INTRODUÇÃO

De acordo com os modelos climáticos, as projeções meteorológicas estimam maior variabilidade meteorológica inter e intra-anual, aumentando assim o risco de eventos extremos, tais como ondas de calor, secas e chuvas intensas cada vez mais frequentes (KREUZWIESER; GESSLER, 2010; IPCC, 2014).

Dentre os fatores abióticos, a seca é o maior limitante ao crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal (LAWLOR, 2002; REDDY; CHAITANYA; VIVEKANANDAN, 2004, FATHI; TARI, 2016). O estresse hídrico ocorre quando o suprimento de água para as raízes é cessado ou quando a taxa de transpiração se torna muito alta (REDDY; CHAITANYA; VIVEKANANDAN, 2004), condições bastante comuns em regiões de climas quentes e secos, como o Semiárido brasileiro.

Nessa região, ocorre limitação dos recursos hídricos decorrente da distribuição irregular das precipitações pluviométricas, altas taxas de evapotranspiração e longos períodos de estiagem, constituindo-se em um fator limitante para o desenvolvimento das espécies vegetais (NIMER, 1972; PRADO, 2003). Levando-se em consideração essas características, as previsões das mudanças climáticas acima citadas e a contínua degradação dos solos através da exploração desordenada dos seus recursos vegetacionais, a região semiárida brasileira apresenta-se como uma das mais vulneráveis às alterações climáticas (FRANCHITO; FERNANDEZ; PAREJA, 2014; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017).

Além da limitação hídrica, os solos do semiárido brasileiro são poucos 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 (ALMEIDA, 2020) e com baixo teor nutricional constituem outros desafios para o crescimento das plantas da região semiárida do Nordeste brasileiro. De acordo com Johnson e Turner (2014), o crescimento das culturas depende diretamente de nutrientes específicos, dentre estes, o nitrogênio (N) onde sua ausência faz com que a planta não complete seu ciclo de vida.

O estresse hídrico afeta o crescimento e produção de biomassa das plantas por interferir negativamente na turgescência e alongamento celular, na abertura dos estômatos e, conseqüentemente, nas trocas gasosas (FARQUHAR; VON CAEMMERER; BERRY, 2001; CHAVES *et al.*, 2002; LAWLOR, 2002; LAWLOR; CORNIC, 2002; CHAVES; MAROCO; PEREIRA, 2003; FLEXAS *et al.*, 2006; MULLER

et al., 2011; FLEXAS *et al.*, 2012; PINHEIRO; CHAVES, 2011; DOMBROSKI *et al.*, 2014; PESSOA; FREIRE; COSTA, 2017).

No entanto, o grau com que as plantas são afetadas, bem como as estratégias desenvolvidas para tolerar essa condição adversa, varia de espécie para espécie, e compreender os mecanismos fisiológicos que proporcionam tolerância à seca é muito importante em termos de seleção da espécie a ser utilizada em programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

Neste cenário de mudanças climáticas, dentre as várias estratégias que podem ser adotadas para minimizar os efeitos do déficit hídrico, está a inoculação plantas leguminosas com bactérias diazotróficas nativas, promovendo a fixação biológica de nitrogênio (FBN), garantindo assim maior tolerância à seca (LARANJO; ALEXANDRE; OLIVEIRA, 2014).

A Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) transforma o nitrogênio atmosférico, indisponível na forma molecular (N_2), em condições assimiláveis pelas plantas. Isso pode permitir que as espécies florestais da família Fabaceae, quando nodulíferas, apresentem maior crescimento quando comparadas com plantas das outras famílias, em ambientes da mesma natureza ou com baixa disponibilidade de nitrogênio.

Neste sentido, apresentando-se como uma das espécies de maior abundância na Caatinga, principal componente vegetacional do semiárido brasileiro, a leguminosa jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poiret.) se destaca pelo seu grande potencial energético, madeireiro, forrageiro e medicinal, além de ser indicadora de regeneração em áreas degradadas por serem plantas pioneiras e adaptáveis (BAKKE *et al.*, 2018).

Em geral, apesar do potencial nodulífero e dos efeitos positivos da simbiose para as leguminosas, são escassos estudos com plantas nativas da Caatinga, como a jurema-preta, sobre essa temática. Necessitando-se cada vez mais de pesquisas que forneçam essas informações, uma vez que o potencial benéfico dessa simbiose poderia ser utilizado em diversas aplicações, destacando-se na recuperação de áreas degradadas em ambientes com déficit hídrico, condição comum no bioma.

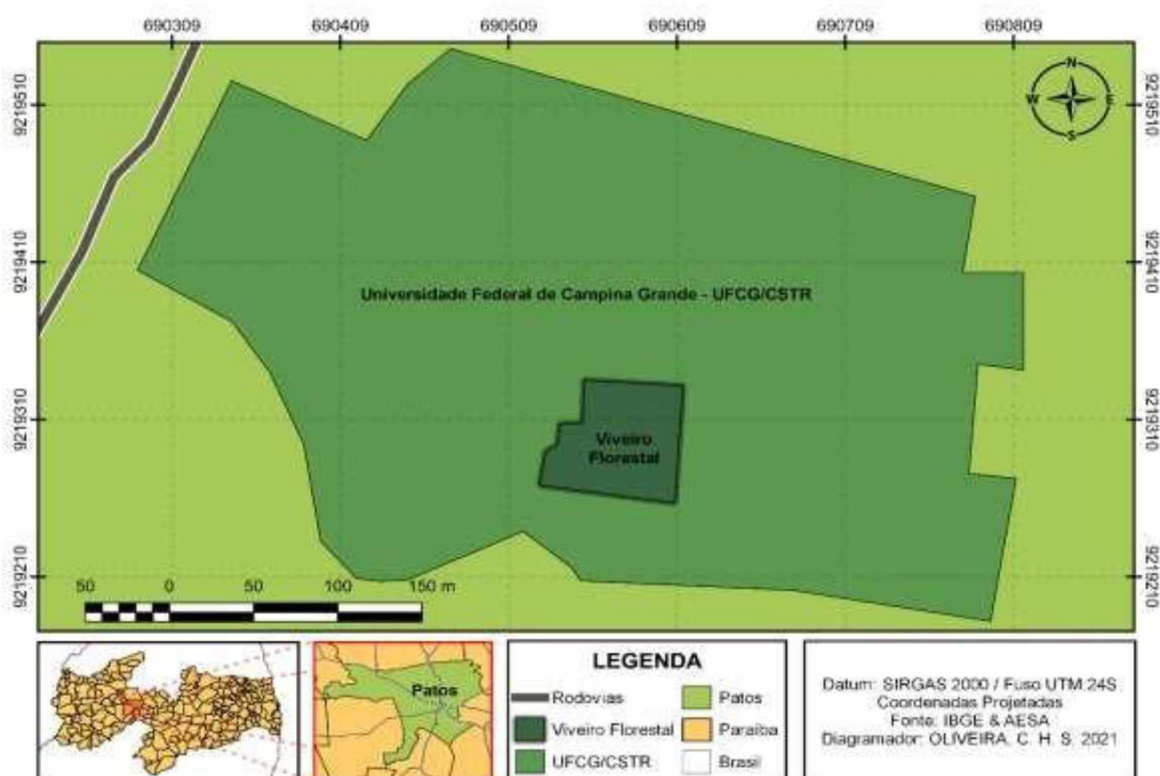
Nesse sentido, desenvolveu-se esta pesquisa com o objetivo de avaliar as respostas fisiológicas das mudas de jurema-preta sob déficit hídrico a partir da interação com bactérias do gênero *Rhizobium*. A hipótese é que a simbiose com a FBN proporcione melhores respostas fisiológicas nas mudas submetidas ao déficit.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local da pesquisa

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com ambiente telado (50% de sombreamento) no Viveiro Florestal da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/UFCG), Patos - PB, coordenadas geográficas 07°01'28"S e 37°16'38"O (Figura 1).

Figura 1 – Mapa indicando a localização de condução do experimento.



Fonte: Oliveira (2021)

2.2 Recipiente e substrato para a produção de mudas

No experimento foram utilizados vasos de polipropileno com capacidade para 3,0 dm³ contendo amostras superficiais de solo da região semiárida (Neossolo Flúvico), coletados na região de Patos, PB, cuja caracterização dos atributos químicos foram procedidos no Laboratório de Solos e Água do Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (Tabela 1). As amostras foram

autoclavadas (120 °C a 1 atm) por 20 minutos para desinfestação antes do enchimento dos vasos.

Tabela 1 – Atributos químicos da amostra de solo Neossolo Flúvico utilizado no experimento.

Amostra	pH	M.O	P	Ca	Mg	K	Na	H+Al	T	V
Neossolo Flúvico	CaCl ₂ 0,01M 6,3	g.dm ⁻³ 11	mg.dm ⁻³ 59,1	cmol _c .dm ⁻³				1,5	7,47	% 79,9

Fonte: Laboratório de solo e água – CSTR/UFCG (2020).

2.3 Obtenção, identificação morfológica e preparo do meio de inoculação das bactérias

Os isolados de rizóbios foram provenientes de isolamentos prévios de solos da região semiárida preservados em vaselina pelo Laboratório de Microbiologia da UAEF/CSTR/UFCG, onde foram selecionados e caracterizados seguindo a metodologia descrita por Vincent (1970).

A caracterização morfológica dos isolados foi realizada avaliando o tempo de crescimento de cada um dos isolados, o pH do meio após o crescimento das bactérias, a forma, produção de muco e coloração Gram das colônias (Tabela 2). Por fim, selecionou-se em vasos de Lonard cultivado com *Vigna unguiculata* (L. Walp.), os três mais promissores na FBN para produção do inoculante bacteriano de rizóbio.

Tabela 2 – Caracterização morfofisiológica dos isolados de *Mimosa tenuiflora*.

Isolados	Crescimento	pH	Valor pH	Coloração pH	Forma da colônia	Morfologia da colônia	Coloração Gram
CA19PT	Rápido	Ácido	4,2	Amarelo esverdeado	Achatado	Gomoso	Negativo
RO19PT	Rápido	Ácido	2	Laranja	Cúpula	Aquoso	Negativo
MK17PT	Rápido	Ácido	3,1	Amarelo	Cônica	Seco	Negativo

Fonte: Nonato (2020).

2.4 Coleta e preparo das sementes, semeadura, inoculação dos rizóbios e tratamentos

As sementes de *M. tenuiflora* foram provenientes de 12 árvores matrizes presentes no *Campus* de Patos, colhidas em novembro de 2019 e armazenadas em

geladeira no Laboratório de Fisiologia Vegetal (UAEF/UFCG). Antes da semeadura, as sementes foram desinfestadas com solução de hipoclorito de sódio (5%) e submetidas à quebra da dormência tegumentar com água quente a 80 °C, segundo metodologia de Bakke *et al.* (2006).

Foram semeadas três sementes em cada vaso e aos 14 dias após a emergência foi feito o desbaste, deixando-se apenas uma muda por vaso. No momento da semeadura, realizou-se a inoculação com os isolados de rizóbio caracterizados adicionando-se 10,0 mL do inóculo por vaso.

O experimento foi distribuído em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 5 x 2, correspondendo a cinco inoculações: três isolados de rizóbio (CA19PT, RO19PT e MK17PT), mudas adubadas com 60 mg.dm⁻³ de N (NITRO) e mudas não inoculadas e não adubadas (TEST) e dois tratamentos hídricos: com 80% e 40% da capacidade de retenção de água – capacidade de pote (cp). Foram adotadas quatro repetições por tratamento, totalizando 40 mudas.

No tratamento com nitrogênio (N) utilizou-se 60 mg.dm⁻³ de sulfato de amônio, parcelados em duas doses, sendo a primeira aplicação (30 mg.dm⁻³) aos 30 dias após a emergência, e a segunda, 30 dias depois.

Para manutenção dos regimes hídricos, vasos contendo amostras de solos utilizado no experimento foram submetidos ao encharcamento por capilaridade. Em seguida, os mesmos foram retirados e colocados para lixiviar e, após completa lixiviação, submetidos à pesagem. Esse valor correspondeu ao peso dos mesmos com 100% da capacidade de retenção de água – capacidade de pote (cp) e, tomado como referência para a determinação dos teores de água avaliados.

Os tratamentos hídricos tiveram início aos 30 dias após a emergência, sendo mantidos inicialmente com o substrato em 60%(cp), com o experimento sendo encerrado 90 dias após o início dos regimes hídricos. Os teores de água no solo foram monitorados diariamente, através da pesagem dos vasos e reajustados quando necessário.

2.5 Parâmetros avaliados

- **Trocas gasosas:** utilizando-se o analisador portátil de fotossíntese LCpro-SD (ADC BioScientific Ltd.) (IRGA), foram realizadas as medições de taxa de transpiração (*E*),

condutância estomática (g_s), taxa de fotossíntese (A), concentração interna de CO_2 (C_i) e relação da concentração intercelular e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a).

As leituras foram realizadas em folhas completamente expandidas inseridas no terceiro nó a partir do ápice das mudas, entre 9:00 e 11:00 horas da manhã. De posse dos valores de A e g_s , calculou-se a Eficiência intrínseca do uso da água (EUA_i). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) do equipamento foi ajustada para $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a concentração de CO_2 utilizada para as análises foi a do ambiente.

Figura 2 – Avaliação das trocas gasosas com auxílio do IRGA.



Fonte: Nonato (2021).

-Teor Relativo de Água (TRA): Após as avaliações estomáticas, foi determinado o teor relativo de água utilizando-se dois folíolos por mudas, os quais foram colocados em copos descartáveis de 50 ml e pesados para se obter a massa fresca. Posteriormente, esses mesmos folíolos foram submersos em água destilada por 48 horas, após isto, retirou-se o excesso de água com auxílio de um papel toalha e pesados para obter a massa saturada.

O TRA foi calculado a partir da seguinte equação:

$$TRA = \frac{P_f - P_s}{P_{st} - P_s} \times 100$$

Sendo:

Pf: peso fresco (g); **Ps:** peso seco (g); **Pst:** peso saturado (g).

- Parâmetros de qualidade de mudas:

a) Altura das mudas e diâmetro do caule: aos 90 dias após o início dos tratamentos hídricos, realizaram-se medições da altura das mudas e do diâmetro do caule (a 1 cm do solo), respectivamente utilizando-se régua graduada em cm e paquímetro analógico.

b) Massa seca das mudas e Índice de qualidade de Dickson: as mudas foram cortadas, separadas em raízes e parte aérea, e colocadas para secar em estufa (65-70 °C) até massa constante. Em seguida, foram submetidas à pesagem com auxílio da balança analítica para a determinação da massa seca.

A qualidade das mudas foi determinada pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960), obtido através da seguinte equação:

$$IQD = \frac{\text{Matéria seca total}}{RAD + RPAR}$$

Sendo:

Matéria seca total: expressa em gramas, obtida pela soma das matérias secas de folhas, caule e raiz; **RAD:** relação altura da parte aérea com diâmetro do coleto; **RPAR:** relação da matéria seca da parte aérea com matéria seca das raízes.

c) Nodulação e determinação do teor de N: foi realizada a avaliação da nodulação (massa seca e número dos nódulos) e, para a quantificação do teor de N, a parte aérea seca foi moída e enviada ao Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental – FULLIN, sendo o nitrogênio analisado pelo método semi-micro Kjeldahl (LIAO, 1981).

2.6 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se a significância de 1% e 5% para o teste de F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, utilizando-se o programa estatístico *Assistat 7.7* (SILVA; AZEVEDO, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observada interação significativa entre os tratamentos, assim como não houve diferença significativa da inoculação na nodulação (número de nódulos e massa seca dos nódulos), teor de N, parâmetros de crescimento (altura, diâmetro do caule, produção de massa seca das mudas) e IQD. Quanto ao tratamento hídrico, não houve

efeito significativo sobre a nodulação, teor de N, diâmetro do caule, produção de massa seca total e IQD.

Apesar da redução de cerca de 25% no *TRA* foliar das mudas do tratamento Testemunha em relação à média dos tratamentos de inoculação e adubadas com N (Figura 3A), a água absorvida pelas mudas possibilitou crescimento e acúmulo de massa seca equivalente à dos demais tratamentos. Possivelmente o teor de N presente no solo utilizado no experimento tenha sido suficiente que as mudas mantivessem suas atividades fisiológicas e consequente crescimento, apesar do efeito negativo da não inoculação nos parâmetros condutância estomática (Figura 4A) e taxas de transpiração (Figura 5A) e de fotossíntese (Figura 6A). No entanto, tais reduções parecem não ter afetado a produção de massa seca, não sendo possível verificar diferença estatística entre os tratamentos de inoculação.

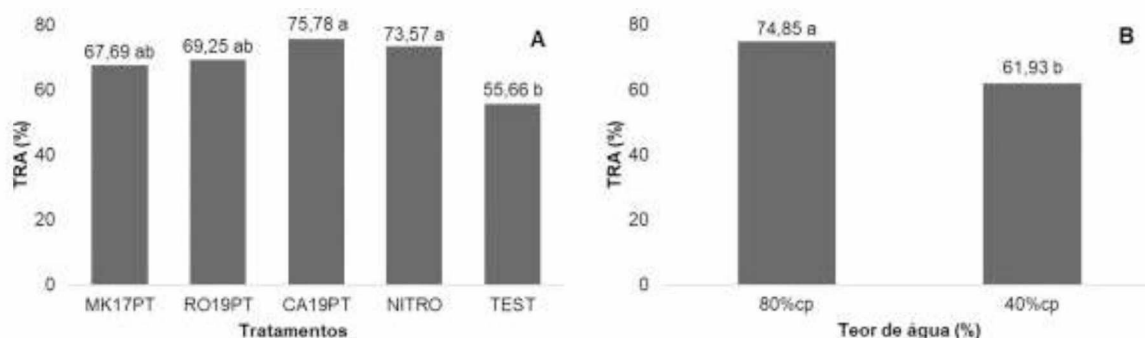
Outro fator a ser considerado é o tempo de duração do experimento, que pode ter sido insuficiente para que os tratamentos de inoculação com as estirpes manifestassem plenamente o seu efeito.

3.1 Teor relativo de água foliar (*TRA*)

A inoculação com a estirpe CAPT19 e a adubação nitrogenada possibilitaram que as mudas mantivessem maiores valores de *TRA* (Figura 3A), apesar da semelhança estatística destes com os outros tratamentos de inoculação. Em comparação com a testemunha, a inoculação com CAPT19 e fornecimento de N possibilitou valores de *TRA* 26,5% e 24,3% superiores, respectivamente. Segundo Hungria (2011), o aumento do *TRA* nas mudas inoculadas e adubadas ocorre devido ao maior aporte de N no vegetal. O nitrogênio, por ser um nutriente essencial, está intrinsicamente ligado ao crescimento de espécies de mudas, participando da constituição de aminoácidos, proteínas e lipídeos.

O suprimento adequado desse nutriente via fixação biológica de nitrogênio ou adubação nitrogenada auxilia na manutenção do teor de água nas mudas além de mantê-las com maior conteúdo de água nos tecidos aumentando o seu teor relativo de água (TAIZ *et al.*, 2017).

Figura 3 — Teor relativo de água foliar (*TRA*) de mudas de *Mimosa tenuiflora* inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).



Sendo:

MK17PT, RO19PT e CA19PT: isolados de rizóbio selecionados; **NITRO:** tratamento com adubação nitrogenada; **TEST:** testemunha.

Fonte: Nonato (2022).

Tem sido relatado que a associação planta-*Rhizobium* ameniza os impactos adversos dos estresses, induzindo a tolerância nas mudas a condições adversas (HUSSAIN *et al.*, 2018). Este aumento na tolerância das mudas advém de o fato da associação proporcionar aumento na produção de osmólitos, antioxidantes, proteínas de estresse e exopolissacarídeos, além disso, causa mudanças bioquímicas e fisiológicas positivas nas mudas por meio de diversas atividades para promover o crescimento, as quais podem aumentar sua capacidade de crescer sob condições de seca (YANG; KLOEPPER; RYU, 2009; HUSSAIN *et al.*, 2014).

Considerando-se o tratamento hídrico, houve redução de 17% no TRA das mudas mantidas a 40%cp (61,93%) em relação ao tratamento 80%cp (74,85%) (Figura 3B). Percebe-se, então, que mesmo mantidas sob uma condição hídrica desfavorável (40%cp), as mudas de jurema-preta mantiveram um nível satisfatório de hidratação dos tecidos, acima do valor crítico considerado por Pardo (2010). Esse autor afirmou que TRA de 50% é um valor crítico para as mudas e abaixo deste pode ser letal.

Redução no TRA em plantas sob condições de deficiência hídrica é esperada, sendo que o grau de resposta e o valor de TRA alcançado é variável com espécie estudada e o nível de estresse imposto (ALVES; FREIRE, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2020). Em *Handroanthus impetiginosus* submetidas à déficit hídrico progressivo ocorreu redução de 57% em comparação com as mudas irrigadas (PESSOA; FREIRE; COSTA, 2017). Resposta mais severa foi verificada em *Tachigali vulgaris*, em que após 10 dias sem irrigação apresentaram decréscimo de 73% no TRA (ATAÍDE *et al.*, 2018).

De acordo Pincelli (2010), o controle das funções fisiológicas está diretamente relacionado com o estado da água da planta, onde as mudanças no *TRA* afetam diretamente o aparelho fotossintético. Se o período seco for prolongado, o déficit pode afetar a cultura, reduzindo a altura da planta, o teor relativo de água e a taxa fotossintética, além de trazer efeitos nos vasos do xilema, causando diminuição na condutividade hidráulica e consequente cavitação (OTIENO *et al.*, 2005).

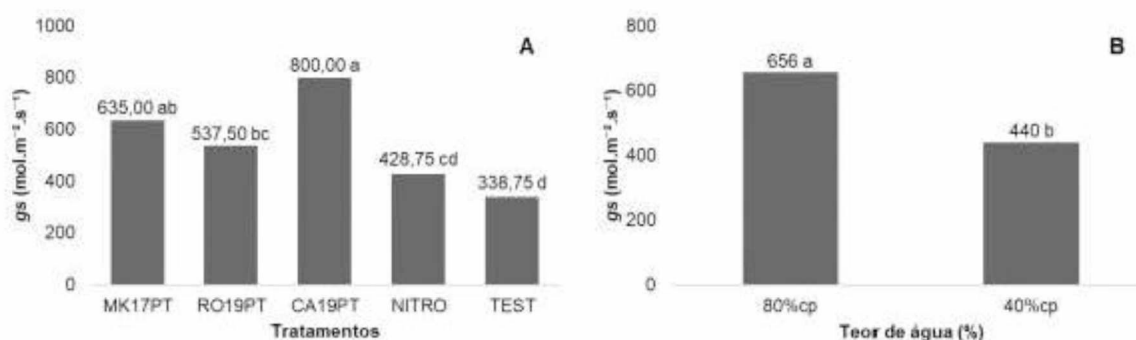
3.2 Trocas gasosas

- Condutância estomática (g_s)

Em relação ao tratamento de inoculação (Figura 4A), a estirpe CA19PT proporcionou condutância estomática superior aos demais tratamentos, equivalente a cerca de 1,5, 1,9 e 2,4 vezes maior do que os valores obtidos na inoculação com RO19PT, Nitrogênio e Testemunha, respectivamente.

As mudas mantidas a 80%cp apresentaram condutância estomática (g_s) de 656 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto a 40%cp, 440 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, redução equivalente a 33% (Figura 4B).

Figura 4 — Condutância estomática (g_s) de mudas de *Mimosa tenuiflora* inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).



Sendo:

MK17PT, RO19PT e CA19PT: isolados de rizóbio; **NITRO:** tratamento com adubação nitrogenada; **TEST:** testemunha.

Fonte: Nonato (2022).

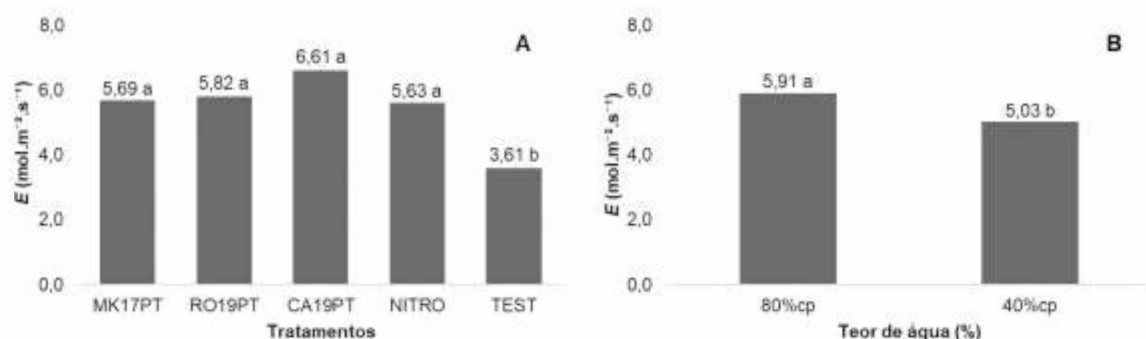
- Taxa de transpiração (E)

No tratamento de inoculação, foi verificada igualdade estatística entre as estirpes utilizadas e o tratamento N, os quais foram superiores à Testemunha (Figura 5A). Em comparação com as mudas inoculadas com a estirpe CA19PT, que apresentou o maior valor ($6,61 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a transpiração das mudas Testemunha foi 45% menor ($3,61 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

A condição de déficit hídrico (40%cp) causou diminuição de apenas 15% na transpiração das mudas em comparação com aquelas que receberam o dobro da quantidade de água de irrigação (80%cp) (Figura 5B).

Sob déficits hídricos leves a moderados, o fechamento estomático é uma das primeiras respostas das plantas, restringindo a perda de água e a assimilação de carbono (ALVES; FREIRE, 2019). Todavia, se a condição de deficiência persistir, ocorrerá a osmorregulação, garantindo assim a manutenção do status da água na planta e a assimilação do CO_2 (CHAVES *et al.*, 2010).

Figura 5 – Taxa de transpiração (E) de mudas de *Mimosa tenuiflora* inoculadas com *Rhizobium* (A) e sob déficit hídrico (B).



Sendo:

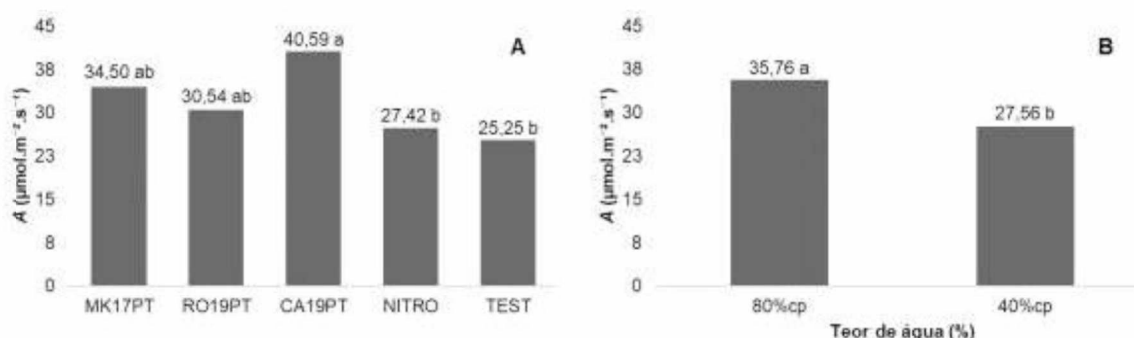
MK17PT, RO19PT e CA19PT: estirpes selecionadas para a produção do inoculante; **NITRO:** tratamento com adubação nitrogenada; **TEST:** testemunha.

Fonte: Nonato (2022).

- Taxa de fotossíntese (A)

Apesar da igualdade estatística entre isolados de rizóbio, a inoculação das mudas com a estirpe CA19PT promoveu maior valor de fotossíntese ($40,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), representando um incremento de 48% e 61%, respectivamente, em relação aos verificados nas mudas que receberam N ($27,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a Testemunha ($25,25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 6A).

Figura 6 — Taxa de fotossíntese (A) de mudas de *Mimosa tenuiflora* inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).



Sendo:

MK17PT, ROP19PT e CA19PT: isolados de rizóbio; **NITRO:** tratamento com adubação nitrogenada; **TEST:** testemunha.

Fonte: Nonato (2022).

Percebe-se, então, a importância do nitrogênio na fisiologia das plantas de jurema-preta que, seja ele fornecido pela adubação ou pela FBN, proporcionou maior absorção de água e hidratação dos tecidos (Figura 3A) e condições mais favoráveis para a realização da trocas gasosas entre as plantas e o ambiente (Figuras 4A, 5A e 6A), concordando com as observações de Bulegon *et al.* (2016). A fotossíntese é um processo altamente dependente do nitrogênio, sendo necessário para a síntese de enzimas presentes nos tilacoides e aquelas envolvidas no ciclo de Calvin (WANG *et al.*, 2015).

Além disso, o nitrogênio é um dos principais componentes da molécula de clorofila, sendo presentes, 4 átomos por molécula. Quanto mais verde são as folhas, maior quantidade de clorofila presente, e consequentemente, maior potencial para ter uma elevada capacidade fotossintética deste órgão (FAGAN *et al.*, 2007).

Em relação ao tratamento hídrico, o comportamento da taxa de fotossíntese (Figura 6B) foi similar ao observado na condutância estomática (Figura 4B) e taxa de transpiração (Figura 5B), em que as mudas sob 40%cp tiveram redução de 22% ($27,56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação ao tratamento 80%cp ($35,76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Decréscimos na condutância estomática e nas taxas de transpiração e de fotossíntese em decorrência do déficit hídrico, com magnitudes variáveis em função da espécie e da intensidade do estresse imposto, foram relatados em plantas de *Tabebuia aurea* (OLIVEIRA; GUALTIERI; BOCCHESI, 2011), *Khaya ivorens* A. Chev. (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013), *Myracrodruon urundeuva* (COSTA *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2020), *Handroanthus impetiginosus* (DOMBROSKI *et al.*, 2014;

PESSOA; FREIRE; COSTA, 2017), *Mimosa tenuiflora* (ALVES; FREIRE, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2020), *Cnidoscolus phyllacanthus* (RAMOS; FREIRE, 2019a, b), *Libidibia ferrea* (ALMEIDA *et al.*, 2020).

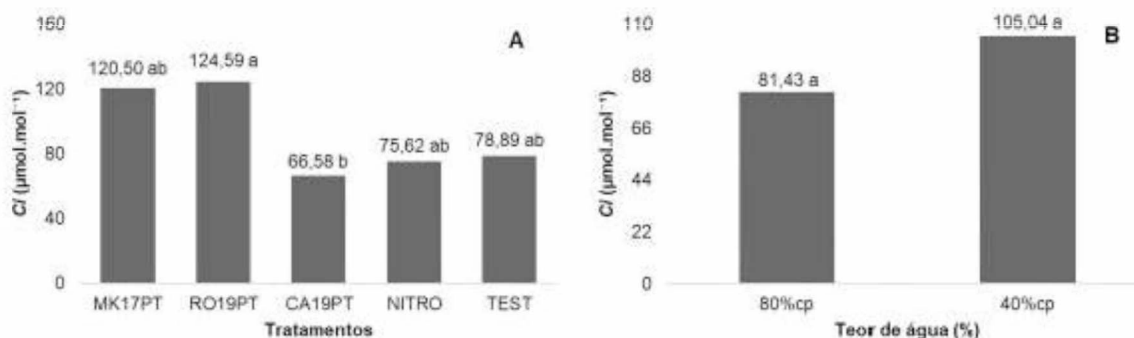
Estes resultados são decorrentes do fechamento estomático causado pela diminuição na disponibilidade de água, com consequente efeito no potencial hídrico foliar, o qual resulta na perda da turgescência das células estomáticas, promovendo declínio na condutância estomática (FLEXAS *et al.*, 2004). Esse comportamento possibilita a redução na perda excessiva de água por transpiração, evitando assim a desidratação dos tecidos (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013).

A taxa de transpiração é responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente, além disso, auxilia no resfriamento foliar em situações de altas temperaturas, garantindo que a atividade do aparato fotossintético não seja comprometida pela redução da atividade de enzimas, como a Rubisco (TAIZ *et al.*, 2017). Além disso, plantas que apresentam maior *gs* apresentam maior atividade da Rubisco por não haver limitação do substrato, apresentando maiores taxas fotossintéticas (FLEXAS *et al.*, 2006).

- Concentração intercelular de CO₂ (*C_i*)

Como resultado da menor taxa de fotossíntese (Figura 6A), as mudas inoculadas com as estirpes MK17PT e RO19PT e dos tratamentos Nitrogênio e Testemunha, apresentaram maiores valores de *C_i*, sendo o menor valor (66,58 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) obtido nas mudas inoculadas com a estirpe CA19PT (Figura 7A), as quais apresentaram maior taxa fotossintética. Percebe-se, então, que apesar de a absorção do CO₂ não ter sido severamente afetada (Figuras 4A, 6A), a sua assimilação pelas células do mesófilo pode ter sido, devido possivelmente a um suprimento insuficiente de nitrogênio, afetando a síntese de clorofila e/ou a síntese de enzimas do Ciclo de Calvin (TAIZ *et al.*, 2017).

Figura 7 — Concentração intercelular de CO₂ (D) de mudas de *Mimosa tenuiflora* inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).



Sendo:

MK17PT, RO19PT e CA19PT: isolados de rizóbio; **NITRO:** tratamento com adubação nitrogenada; **TEST:** testemunha.

Fonte: Nonato (2022).

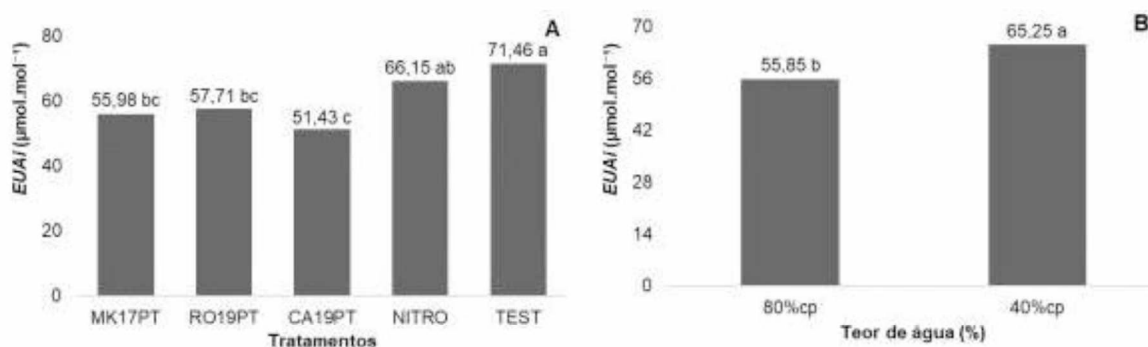
Da mesma forma, as mudas mantidas a 40%cp apresentaram aumento significativo (23%) nos valores de C_i (105,04 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) em relação às mudas a 80%cp (81,43 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) (Figura 7B). Aumentos nesse parâmetro devido ao déficit hídrico, com consequente redução na fotossíntese também foram relatados por Costa *et al.* (2015) e Alves e Freire (2019), respectivamente, em *H. impetiginosus* e *M. tenuiflora*. Sob deficiência hídrica ocorre o fechamento dos estômatos, redução da perda de água das folhas para a atmosfera e também a difusão de CO₂ para o interior da folha (CHAVES *et al.*, 2002; LAWLOR; CORNIC, 2002), porém, com o avanço do déficit hídrico, os valores de C_i tendem a aumentar (FLEXAS; MEDRANO, 2002). Considerando-se que, apesar do aumento de C_i sob déficit hídrico (Figura 7B), depreende-se que a redução em A (Figura 6B) foram decorrentes de limitações não estomáticas (LAWLOR; CORNIC, 2002).

Esses resultados reforçam a informação que a redução da fotossíntese sob condições de déficit hídrico não é devida exclusivamente a fatores estomáticos, restringindo a trocas gasosas entre a planta e o ambiente externo (FAROOQ *et al.*, 2009). Fatores não estomáticos como a diminuição na síntese de clorofila (TAIZ *et al.*, 2017), danos ao aparelho fotossintético e decréscimo da síntese e/ou atividade das enzimas do Ciclo Calvin (MONAKHOVA; CHERNYAD'EV, 2004; TAIZ *et al.*, 2017), principalmente da Rubisco, com o CO₂ não sendo carboxilado e incorporado no ciclo de Calvin (TAIZ *et al.*, 2017), também devem ser levados em consideração. Segundo Bulegon *et al.* (2016), baixos valores de A e altos valores de C_i remetem a uma deficiência no aparato fotossintético, corroborando essas afirmações.

- Eficiência intrínseca do uso da água (EUA_i)

As mudas de jurema-preta do tratamento Testemunha da inoculação apresentaram maior EUA_i ($71,46 \mu\text{mol mol}^{-1}$), apresentando semelhança estatística com as mudas adubadas com N ($66,15 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Figura 8A) e, contrariamente ao obtido nos outros parâmetros já relatados, a EUA_i das mudas inoculadas com a estirpe CA19PT foi inferior às demais ($51,43 \mu\text{mol m}^{-1}$). Esses resultados são decorrentes dos baixos valores da taxa de fotossíntese (A) (Figura 6A) em relação aos da condutância estomática (g_s) (Figura 4A), nos tratamentos Nitrogênio e Testemunha, quando comparados aos tratamentos de inoculação, possibilitando assim menor perda de água e maior eficiência no seu uso (INAGAKI *et al.*, 2015).

Figura 8 – Eficiência intrínseca do uso da água (EUA_i) de mudas de *Mimosa tenuiflora* inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).



Sendo:

MK17PT, RO19PT e CA19PT: isolados de rizóbio; **NITRO:** tratamento com adubação nitrogenada; **TEST:** testemunha.

Fonte: Nonato (2022).

Semelhante ao verificado em C_i , ocorreu aumento em EUA_i nas mudas mantidas a 40%cp ($65,25 \mu\text{mol mol}^{-1}$) em comparação com 80%cp ($55,85 \mu\text{mol.m}^{-1}$), representando elevação de 15% (Figura 8B). Esse comportamento indica que as mudas de jurema-preta, sob déficit hídrico, conseguiram regular a perda de água por transpiração, porém sem afetar demasiadamente a fotossíntese. Dğadelen (2009) afirmou que à medida que o suprimento hídrico do solo decresce, a fotossíntese e a condutância estomática são reduzidas, contribuindo para aumento da eficiência do uso de água.

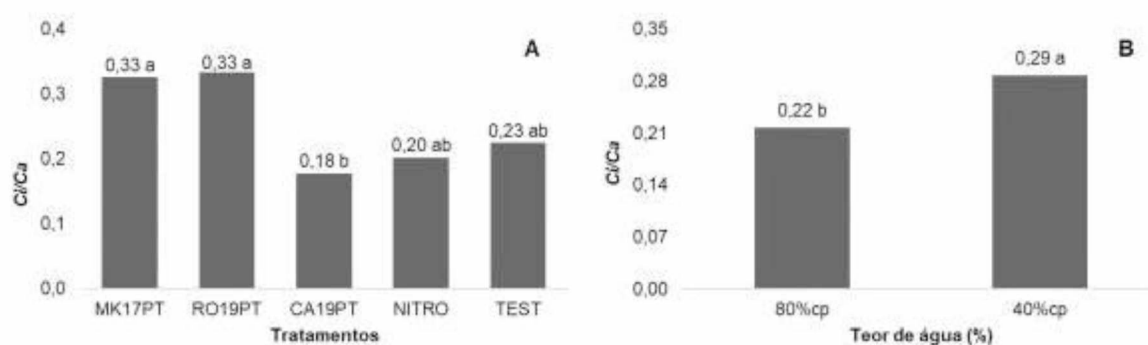
Dombroski *et al.* (2014) encontraram resultados semelhantes em mudas de *Handroanthus impetiginosus* submetidas ao estresse hídrico, enquanto que Almeida

(2020), verificou redução em EUA_i com o aumento do déficit hídrico nas plantas de jurema-preta aos 30 dias sob condições de déficit, enquanto que aos 60 dias, a situação foi invertida, com elevação nos valores, mostrando a adaptação da espécie ao déficit hídrico à medida que essa condição adversa avança. Alves e Freire (2019), também em jurema-preta, mantidas sob déficit hídrico progressivo, encontraram aumento em EUA_i . A resposta das plantas quanto à EUA_i varia entre as espécies e também de acordo com a fenofase da planta, mas aquelas que respondem ao déficit hídrico com alta eficiência no uso da água conseguem resistir melhor à seca (MEDRANO; FLEXAS; GALMÉS, 2009).

- Razão C_i/C_a

O comportamento da razão C_i/C_a (Figura 9) foi semelhante ao verificado em C_i (Figura 7), tanto em relação ao tratamento de inoculação, quanto ao tratamento hídrico. Em relação à inoculação, foi verificada superioridade estatística das estirpes MK17PT e RO19PT em relação à estirpe CA19PT (Figura 9A), enquanto que no tratamento hídrico, as mudas mantidas sob 40%cp apresentaram razão C_i/C_a estatisticamente maior do que aquelas mantidas a 80%cp (Figura 9B).

Figura 9 – Razão da concentração intercelular e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a) de mudas de *Mimosa tenuiflora* inoculadas com rizóbio (A) e sob déficit hídrico (B).



Sendo:

MK17PT, ROP19PT e CA19PT: isolados de rizóbio; **NITRO:** tratamento com adubação nitrogenada; **TEST:** testemunha.

Fonte: Nonato (2022).

Percebe-se, então, claramente a influência do componente C_i na razão C_i/C_a , podendo-se inferir que o componente estomático exerceu pouca influência nas plantas, conforme já relatado.

A razão C_i/C_a é um bom indicador da limitação estomática da fotossíntese, sendo que em condições ambientais favoráveis, esta razão tende a permanecer constante para um grande número de espécies. Quando as condições favorecem a diminuição da condutância estomática, a manutenção da taxa fotossintética só é possível com a fixação mais eficiente do carbono no mesófilo foliar (EHLERINGER; CERLING, 1995; LEMOS *et al.*, 2012).

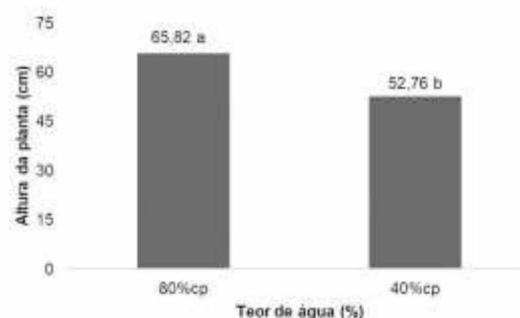
3.3 Parâmetros de qualidade de mudas

- Altura das mudas

Redução no teor de água do solo de 80%cp para 40%cp causou diminuição de 20% na altura das mudas (Figura 10). A baixa disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, reduzida absorção pelas plantas, causa diminuição na turgescência, afetando os processos de expansão e alongamento celular, resultando em prejuízo no crescimento do vegetal (TAIZ *et al.*, 2017).

Isso demonstra que apesar da *M. tenuiflora* ser uma espécie resistente aos períodos de estiagem, o que explica parcialmente sua abundância, domínio e traço pioneiro em muitos locais secos da área semiárida do nordeste do Brasil, essa apresenta uma dependência de reserva de água em seus tecidos que influencia no seu crescimento (BAKKE *et al.*, 2006).

Figura 10 — Altura (cm) de mudas de *Mimosa tenuiflora* em função do déficit hídrico.



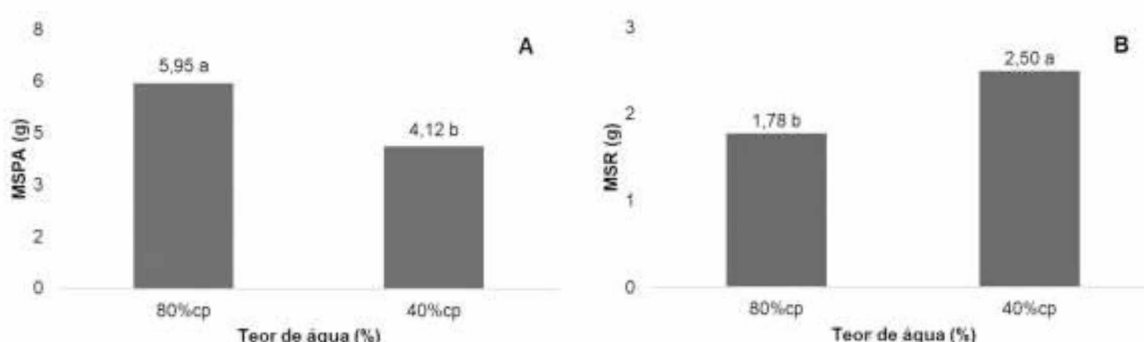
Fonte: Nonato (2022).

Resultado semelhante foi obtido por Lima e Rodal (2010) que observaram a forte influência da água no crescimento e emissão de novas folhas em espécies da Caatinga, dentre elas a *M. tenuiflora*.

- Massa seca das mudas

As mudas mantidas a 40%cp apresentaram menor produção de massa seca na parte aérea (Figura 11A) em comparação com o tratamento 80%cp, com redução de 31% nesse componente. Contrariamente, houve aumento de 40% na produção de massa seca nas raízes (Figura 11B).

Figura 11 — Massa seca da parte aérea (g) (A) e das raízes (g) (B) de mudas de *Mimosa tenuiflora* em função do déficit hídrico.



Fonte: Nonato (2022).

Redução na produção de massa seca pelas plantas sob déficit hídrico tem sido amplamente relatado (FIGUEIRÔA; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004; MARTINS *et al.*, 2010; SCALON *et al.*, 2011; RAMOS; FREIRE; FRANÇA, 2021). Esse comportamento está estreitamente relacionado ao comportamento estomático sob estresse hídrico, com diminuição na condutância estomática (Figura 4A), transpiração (Figura 5A) e fotossíntese (Figura 6A). A redução na disponibilidade de água causa perda de turgescência das células-guarda e consequente fechamento dos estômatos, afetando a fotossíntese, consequentemente, reduzindo a produção de massa seca pelas plantas (CHAVES *et al.*, 2002; FLEXAS; MEDRANO, 2002; SCHULZE *et al.*, 2006; TEIXEIRA *et al.*, 2008; KREUZWIESER; GESSLER, 2010; BATTIE-LACLAU *et al.*, 2013; MATEUS *et al.*, 2022).

No entanto, para conseguir sobreviver sob condições de deficiência hídrica, as plantas desenvolvem uma série de estratégias, e além de regular a abertura dos estômatos, acumulam mais massa seca nas raízes em detrimento da parte aérea (MERCHANT *et al.*, 2007; TEIXEIRA *et al.*, 2008). Tal estratégia, segundo esses autores, serve para diminuir a perda de água durante os períodos de escassez e aliviar os efeitos do estresse hídrico.

A continuidade do crescimento radicular, sob condições de menor disponibilidade hídrica, depende da regulação da pressão de turgor mínima nas células, que seja suficiente para permitir o alongamento da parede celulósica e o crescimento celular. Quando o potencial da água é reduzido nas raízes, pode-se verificar um rápido ajuste osmótico, auxiliando o restabelecimento da pressão de turgor e permitindo a manutenção do alongamento celular (HSIAO; XU, 2000).

Maior acúmulo de massa seca nas raízes é considerado um caráter adaptativo, comum em plantas submetidas a ambientes com períodos prolongados de estiagem o qual, segundo Taiz *et al.* (2017), pode ser devido ao aumento na síntese do ácido abscísico (ABA) nas raízes, desencadeada por conta do déficit hídrico, levando ao crescimento e formação de raízes laterais. Ademais, para superar o estresse hídrico, as plantas investem na produção de massa seca radicular por conta da estocagem de assimilados no solo em resposta à redução da expansão foliar e, conseqüentemente, diminuição do consumo de carbono e energia, sendo observado reduções no crescimento da parte aérea (CARVALHO; MARTINS; MOREIRA, 2012).

3.4 Índice de qualidade de Dickson

Apesar de não ter sido detectada diferença significativa entre os tratamentos, os valores de IQD variaram 0,31 (interação 80%cp-RO19PT) a 0,53 (interação 40%cp-Testemunha). De acordo com Hunt (1990), muda que apresentar valor de IQD acima de 0,20 pode ser considerada de qualidade. Dessa forma, levando-se em consideração esse parâmetro, pode-se inferir que as plantas de jurema-preta produzidas são consideradas de qualidade, independente do tratamento de inoculação testado ou do nível de água adotado nesse experimento.

Segundo Fonseca *et al.* (2002), o índice de qualidade de Dickson, é considerado um dos principais parâmetros que demonstra a qualidade da muda, pois quanto maior o valor deste índice, maior será a robustez da muda e a distribuição de

sua biomassa, atribuindo maior resistência ao transplântio e capacidade de sobrevivência no campo.

3 CONCLUSÕES

- a) A inoculação com o isolados de rizóbio CA19PT e a adubação nitrogenada influenciam positivamente as trocas gasosas, não interferindo, no entanto, no crescimento, produção de biomassa, qualidade das mudas, nodulação e teor de nitrogênio da parte aérea da planta;
- b) a condição hídrica de 40%cp reduz a transpiração e a fotossíntese, com reflexos negativos na altura e no acúmulo de massa seca das mudas, contudo, sem afetar a qualidade das mudas;
- c) as mudas de jurema-preta acumulam mais biomassa nas raízes em detrimento da parte aérea, quando submetidas ao déficit hídrico.

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 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100002>.
- ALMEIDA, E. P. **Reflexos da adubação potássica e dos níveis de água em aspectos fisiológicos e bioquímicos de mudas de espécies arbóreas da caatinga**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2020. 62 p. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/22033/1/EDIGLÉCIA%20PEREIRA%20DE%20ALMEIDA%20-%20DISSERTAÇÃO%20PPGCF%202020.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2022.
- ALMEIDA, E. P.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; FERREIRA, C. D.; FRANÇA, G. M.; BATISTA, A. W. Effects of potassium in *Myracrodruon urundeuva*, *Libidibia ferrea* and *Mimosa tenuiflora* seedlings under a short-term water deficit. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e97953269, 2020. DOI <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3269>.
- ALVES, F. J. B.; FREIRE, A. L. O. Gas exchange of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret under water deficit and rewatering. **Journal of Agricultural Studies**, v. 7, n. 4, p. 297-308, 2019. DOI <https://doi.org/10.5296/jas.v7i4.15338>.

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.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/5/a_regiao_semiarida_do_nordeste_do_brasil.pdf.

ATAÍDE, W.; NETO, C.; 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**, Belém, v. 41, n. 3, p. 771-782, 2018. DOI <https://doi.org/10.19084/RCA17231>.

BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A.; PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, D. S. *Mimosa tenuiflora*: jurema-preta. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. **C. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Brasília: MMA, 2018. cap. 5, p. 569-577.

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.; PICCOLO, M. C.; ARENQUE, B. C.; BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ, M. R. A.; JORDAN-MEILLE, L.; BUCKERIDGE, M. S.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J.; BOUILLET, J. P. Influence of potassium and sodium nutrition on leaf area components in *Eucalyptus grandis* trees. **Plant and Soil**, v. 371, n. 1, p. 19-35, 2013a. DOI <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1663-7>.

BULEGON, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; EGEWARTH, V. A.; SANTOS, M. G.; HELING, A. L.; FERREIRA, S. D.; WENGRAT, A. P. G. S.; BATTISTUS, A. G. Crescimento e trocas gasosas no período vegetativo da soja inoculada com bactérias diazotróficas. **Nativa**, Cuiabá, v. 4, n. 5, p. 277-286, 2016. DOI <https://doi.org/10.31413/nativa.v4i5.3215>.

CARVALHO, J. S. B.; MARTINS, J. D. L.; MOREIRA, K. A. Respostas fisiológicas de *Hyptis pectinata* (L.) Poit. ao estresse hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v. 12, n. 2, p. 20-28, 2012. Disponível em: http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/artigo_flavio_bioterra_v12_n2-51833118b91bb.pdf.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J. P.; 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 <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J. P. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, n. 3, p. 239–64, 2003. DOI <https://doi.org/10.1071/fp02076>.

CHAVES, M. M.; ZARROUK, O.; FRANCISCO, R.; COSTA, J. M.; SANTOS, T.; REGALADO, A. P.; RODRIGUES, M. L.; LOPES, C. M. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. **Annals of Botany**, v. 105, n. 5, p. 661-676, 2010. DOI <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>.

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 <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n4p705>.

DĞADELEN, N.; BASAL, H.; YILMAZ, E.; GÜRBÜZ, T.; AKÇAY, S. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 1, p. 111-120, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.07.003>.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960. DOI <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, R. M. O.; TOMCZAK, V. E.; PINTO, J. R. S.; FARIAS, R. M. Ecophysiology of water stressed *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex. DC) Mattos) seedlings. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 155-163, 2014. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr101/cap14.pdf>.

EHLERINGER, J. R.; CERLING, T. E. Atmospheric CO₂ and the ratio of intercellular to ambient CO₂ concentrations in plants. **Tree Physiology**, v. 15, n. 2, p. 105-111, 1995. DOI <https://doi.org/10.1093/treephys/15.2.105>.

FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; NETO, D. D.; LIER, Q. J. V.; SANTOS, O. S.; MULLER, L. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja: revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007. Disponível em: <http://www.itaya.bio.br/materiais/Fixa%C3%A7%C3%A3o%20biol%C3%B3gica%20do%20nitrogenio.pdf>.

FARQUHAR, G. D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A. Models of photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 125, n. 1, p. 42–5, 2001. DOI <https://doi.org/10.1104/pp.125.1.42>

FATHI, A.; TARI, D. B. Effect of drought stress and its mechanism in plants. **International Journal of Life Sciences**, v. 10, n. 1, p. 1-6, 2016. DOI doi.org/10.3126/ijls.v10i1.14509

FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; WAHID, A.; AHMAD, N.; SALLEM, B. A. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic

acid. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 4, p. 237-246, 2009. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00365.x>.

FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 573-580, 2004. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000300015>.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M.; BRENDDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUÍ, M.; DÍAZ-ESPEJO, A.; DOUTHE, C.; DREYER, E.; FERRIO, J. P.; GAGO, J.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J.; KODAMA, N.; MEDRANO, H.; NIINEMETS, U.; PERGUERO-PINA, J. J.; POU, A.; RIBAS-CARBÓ, M.; WARREN, C. R. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v. 193-194, p. 70-84, 2012. DOI <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.009>.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; CIFRE, J.; ESCALONA, J. M.; GALMÉS, J.; GULÍAS, J.; LEFI, E. K.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S. F.; MORENO, M. T.; RIBAS-CARBÓ, M.; RIERA, D.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annal of Applied Biology**, v. 144, n. 3, p. 273-283, 2004. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00343.x>.

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>.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73-82, 2006. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01794.x>.

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>

HSIAO, T. C.; XU, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 350, p. 1595-1616, 2000. DOI <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.350.1595>.

HUNGRIA, M. **Inoculação com Azospirillum brasilense**: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. *In*: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200, 1990. **Proceedings[...]**. Fort Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, Roseburg, 1990. p. 218-222.

HUSSAIN, M. B.; AHMED, N.; MAHMOOD, S. Rhizobial inoculation for improving growth physiology, nutrition and yield of maize under drought stress conditions. **Pakistan Journal of Botany**, Faisalabad, v. 50, n. 5, p. 1681-1689, 2018. Disponível em: <http://www.pakbs.org/pjbot/papers/1527614105.pdf>.

HUSSAIN, M. B.; ZAHIR, Z. A.; ASGHAR, A. N.; ASGHER, M. Can catalase and exopolysaccharides producing rhizobia ameliorate drought stress in wheat?. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 16, n. 1, p. 3-13, 2014. Disponível em: http://www.fspublishers.org/published_papers/87766_.pdf.

INAGAKI, A. M.; GUIMARÃES, V. F.; LANA, C.; KLEIN, J.; RODRIGUES, A. C. P.; RODRIGUES, L. O. S.; RAMPIM, L. Maize initial growth with the inoculation of plant growth-promoting bacteria (PGPB) under different soil acidity levels. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 4, p. 271-280, 2015. Disponível em: http://www.cropj.com/inagaki_9_4_2015_271_280.pdf.

IPCC. **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.)]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. 151 p. ISBN 978-92-9169-143-2.

JOHNSON, D. W.; TURNER, J. Nitrogen budgets of forest ecosystems: a review. *Forest Ecology and Management*, v. 318, n. 1, p. 370-379, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.028>.

KREUZWIESER, J.; GESSLER, A. Global climate change and tree nutrition: influence of water availability. **Tree Physiology**, v. 30, p. 1221–1234, 2010. DOI <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq055>.

LARANJO, M.; ALEXANDRE, A.; OLIVEIRA, S. Genes commonly involved in acid tolerance are not overexpressed in the plant microsymbiont *Mesorhizobium loti* MAFF303099 upon acidic shock. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 98, n. 16, p. 7137-7147, 2014. DOI <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5875-4>.

LAWLOR, D. W. Limitation to Photosynthesis in Water-stressed Leaves: Stomata vs. Metabolism and the Role of ATP. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 871–885, 2002. DOI <https://doi.org/10.1093/aob/mcf110>.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant and Cell Environment**, v. 25, n. 2, p. 275–94, 2002. DOI <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>.

LEMOS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; CORRÊA, M. L. P.; CECON, P. R. Morphophysiology of corn plants in competition with picão-preto and trapoeraba submitted to clearings. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 487-496, 2012. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000300004>.

LIAO, C. F. H. Devarda's alloy method for total nitrogen determination. **Soil Science Society of American Journal**, v. 45, p. 852-855, 1981. DOI <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050005x>.

LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 11, p. 1363-1373, 2010. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.05.009>.

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 <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.

MARTINS, M. O. NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, M. G. Crescimento de plantas jovens de nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss. - Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 771-779, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500002>.

MATEUS, N. S.; FERREIRA, E. V. O.; FLORENTINO, A. L. *et al.* Potassium supply modulates *Eucalyptus* leaf water-status under PEG-induced osmotic stress: integrating leaf gas exchange, carbon and nitrogen isotopic composition and plant growth. **Tree Physiology**, v. 42, p. 59-70, 2022. DOI <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab095>

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 <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-008-9785-z>.

MERCHANT, A.; CALLISTER, A.; ARNDT, S.; TAUSZ, M.; ADAMS, M. Contrasting physiological responses of six *Eucalyptus* species to water deficit. **Annals of Botany**, v. 100, n. 7, p. 1507-1515, 2007. DOI <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcm234>.

MONAKHOVA, O. F.; CHERNYAD'EV, L. I. Effects of cytokinin preparations on the stability of the photosynthetic apparatus of two wheat cultivars experiencing water deficiency. **Applied Biochemical and Microbiology**, v. 40, n. 6, p. 573-580, 2004. DOI <https://doi.org/10.1023/B:ABIM.0000046993.38857.3e>.

MULLER, B.; PANTIN, F.; GERNÁRD, M.; TURC, O.; FREIXES, S.; PIQUES, M.; GIBON, Y. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 6, p. 1715-1729, 2011. DOI <https://doi.org/10.1093/jxb/erq438>.

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

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J.; BOCCHESI, R. A. Gas exchange of potted *Tabebuia aurea* plants under hydric stress. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 641-647, 2011. DOI <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.11254>.

OTIENO, D. O.; SCHMIDT, M. W. T.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J. Physiological and morphological responses to water stress in two *Acacia* species from contrasting habitats. **Tree Physiology**, v. 25, n. 3, p. 361-371, 2005. DOI <https://doi.org/10.1093/treephys/25.3.361>.

PARDO, J. M. Biotechnology of water and salinity stress tolerance. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 21, n. 2, p. 185-196, 2010. DOI <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.02.005>.

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>.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. Dissertação (Mestre em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Botucatu, 2017. 78p.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. cap. 1, p. 3-74.

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 to drought of *Cnidoscolus quercifolius* Pohl in semi-arid conditions. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 493-499, 2019b. DOI <https://doi.org/10.34062/afs.v6i1.5735>.

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

REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 11, p. 1189-1202, 2004. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, 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 <https://doi.org/10.5902/198050984510>.

SCHULZE, E.D.; TURNER, N. C.; NICOLLE, D.; SCHUMACHER, J. Leaf and wood carbon isotope ratios, specific leaf areas and wood growth of Eucalyptus species across a rainfall gradient in Australia. **Tree Physiology**, v. 26, p. 479-492, 2006. DOI <https://doi.org/10.1093/treephys/26.4.479>.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. DOI <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 6. ed., 2017, 858 p.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 362, n. 1, p. 110-127, 2008. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.011>.

VINCENT, J.M. **A manual for the practical study of root-nodule bacteria**. IBP Handbook No. 15. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. 164 p.

WANG, Z. N.; LU, J. Y.; YANG, M.; YANG, H. M.; ZHANG, Q. P. Stoichiometric characteristics of carbon, nitrogen, and phosphorus in leaves of differently aged lucerne (*Medicago sativa*) stands. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 6:A1062, 2015. DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01062>.

YANG, J.; KLOEPPER, J.; RYU, C. M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. **Trends in Plant Science**, v. 14, p. 1-4, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004>.