

LUZIENE MARIA DOS SANTOS

**ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS DE DUAS ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS
(FABACEAE) EM CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO E QUARTZÍTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Eduardo Gusmão Pereira

Coorientador: Advânio Inácio Siqueira Silva

FLORESTAL – MINAS GERAIS

2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal

T

S237e
2022 Santos, Luziene Maria dos, 1984-
Estratégias adaptativas de duas espécies de leguminosas (Fabaceae) em campo rupestre ferruginoso e quartzítico / Luziene Maria dos Santos. – Florestal, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (76 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Eduardo Gusmão Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Ciências Biológicas, 2022.

Referências bibliográficas: f. 67-75.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvvaf.2022.004>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Leguminosa - Fisiologia. 2. Stress (Fisiologia).
3. Leguminosa - Conservação. 4. Leguminosa - Resistência a doenças e pragas. I. Pereira, Eduardo Gusmão, 1977-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Biológicas. Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários. III. Título.

23. ed. 583.74


LUZIENE MARIA DOS SANTOS

**ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS DE DUAS ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS
(FABACEAE) EM CAMPO RUPESTRE FERRUGINOSO E QUARTZÍTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de março de 2022.


Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 LUZIENE MARIA DOS SANTOS
Data: 13/12/2022 21:10:52-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Luziene Maria dos Santos

Autora

Documento assinado digitalmente

 EDUARDO GUSMAO PEREIRA
Data: 05/12/2022 08:01:34-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Eduardo Gusmão Pereira
Orientador

Aos meus pais amados: Abílio Soriano dos Santos (*In memoriam*) e Luzia Maria dos Santos.

E, a todos aqueles pesquisadores da ciência e do amor, que buscam a preservação e conservação do Cerrado e dos Campos Rupestres, sem, contudo, a mediocridade de julgar que o desenvolvimento e a mineração não são necessários, mas entendendo que a responsabilidade socioambiental e coparticipativa é imprescindível a todos.

Dedico.

(Dedico a mim, como forma de luta em todos os momentos que recuando foia única alternativa no momento para me reerguer e continuar).

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e todas as coisas, agradeço a Deus por me permitir trilhar todos estes caminhos. Por me permitir chegar até onde me encontro. Por me dar a oportunidade de estudar, de ter amigos, de poder ter convivido com meus peludos Ghismo e Schineyder (Saudades eterna) Kitchute e principalmente a Bali Baguela e agora Nalua Gigantea. Por minha família e pelo alimento abençoado a cada dia. Agradeço aos meus pais pela dádiva da vida, por parte de minha formação inicial. Por eu ser quem eu sou.

Ao meu pai Abílio, por todo o cuidado e carinho que mesmo em momentos difíceis, apresentava por mim.

A minha mãe Luzia, por todas as noites em claro, por todo o esmero, por toda abdicação de seus desejos e de si mesma por mim e ao incentivo aos meus estudos. Mulher forte e guerreira que me mostrou o quanto minha formação é importante para minha vida, mesmo ela não sabendo da existência dessa longa jornada.

Aos Sobreviventes, equipe de coleta Talita, Karina, Larissa os quais pude compartilhar bons momentos em campo e bons alimentos. Em particular ao Paulo Pimentel por também me acompanhar ao laboratório nas primeiras coletas, mesmo cansado após o campo e por todo seu ensinamento pessoal.

Aos meus colegas de LASP e em particular ao Moises, Marcos, Camilla, Cassimiro que em algum momento estiveram presentes comigo nesse caminho.

Em especial à Isadora Ribeiro por toda a ajuda no formato de boa vontade ofertada e Marina Mariá por toda a paciência em suas explicações, em sua visão diferenciada de amiga, cuidados e conselhos em atenção aos dias difíceis dessa jornada.

Ao meu coorientador professor Advânio Inácio que além de toda a paciência e ensinamentos, foi responsável pela execução de parte desse projeto.

Ao professor Leonardo Bhering e ao professor Flanklin Magnum do Laboratório de Biometria da UFV – Viçosa pela ajuda com o software RBio.

A empresa Vale Mineração pelo auxílio financeiro para a execução deste trabalho.

Agradeço até mesmo como forma simbólica às espécies trabalhadas: *Chamaecrista mucronata* e *Mimosa pogocephala* e ao Campo Rupestre por suas respostas fornecidas.

À minha banca avaliadora composta pelos professores Daniel Negreiros, João Paulo de Souza, Igor Rodrigues de Assis e Hygor Aristides Victor Rossoni, que aceitaram prontamente o convite contribuindo para minha orientação.

À Universidade Federal de Viçosa *Campus* Florestal que permitiu que eu realizasse o meu desejo de estar em uma Universidade Federal. Que proporcionou Florestal como meu lar. Que me permitiu acreditar que o mestrado era meu caminho e a minha felicidade quando podia desfrutar um pouco da paz, do ar puro e das belas imagens que o *Campus* oferece.

Por fim, mas não menos importante, ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Gusmão e ao LASP por ele representado, que acreditou em mim até mesmo quando eu não acreditava. Que foi pai quando mereci ser defendida, professor rígido quando necessitei, compreensível quando precisei e que me guiou nesta jornada intensa, sendo muito importante para minha vida como referência profissional. Por seus conhecimentos, desejo de aprender, entusiasmo e por me demonstrar que a paciência e uma visão diferenciada devem fazer parte de minha vida.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram ao longo dessa minha jornada, meus sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

As impurezas do branco
Minas não é palavra montanhosa.
É palavra abissal. Minas é dentro e fundo.
As montanhas escondem o que é Minas.
No alto celeste, subterrânea,
É galeria vertical varando o ferro
Para chegar onde ninguém sabe onde.
Ninguém sabe minas.
A pedra
O buriti
A carranca
O nevoeiro, o raio
Selam a verdade primeira, sepultada em eras
geológicas de sonho.
Só os mineiros sabem. E não dizem nem a si
mesmo o irrevelável segredo chamado Minas.
Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

SANTOS, Luziene Maria dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2022. **Estratégias adaptativas de duas espécies de leguminosas (Fabaceae) em campo rupestre ferruginoso e quartzítico.** Orientador: Eduardo Gusmão. Coorientador: Advânio Inácio.

Os Campos Rupestres são constituídos por um mosaico de vegetação inserida em regiões acima de 900 m de altitude e apresenta grande valor para a conservação. Ocorrem em solos de pH ácido, e são divididos em: Campo rupestre quartzítico, originado pela decomposição de quartzitos, arenitos e itacolomitos, com alta concentração de alumínio, e Campo Rupestre ferruginoso (canga), proveniente de formações ferríferas de hematita compacta e fragmentos de itabirito cimentado, com alta concentração de minerais de ferro e manganês. O objetivo deste estudo foi avaliar as estratégias adaptativas de duas espécies de leguminosas, *Chamaecrista mucronata* Spreng (H.S. Irwin & Barneby) e *Mimosa pogocephala* Benth (R. C. Barneby), presentes no campo rupestre em ambos os solos a partir da análise das respostas fotossintéticas, hídricas e nutricionais em função do tipo de solo em que se encontram e período sazonal. O trabalho foi desenvolvido na Serra da Calçada, entre os municípios de Brumadinho e de Nova Lima – MG. Ambas as espécies apresentaram alta eficiência fotossintética, ajustes à variação hídrica e adotaram estratégias distintas para uso de recursos do ambiente. Em relação aos atributos hidráulicos do xilema e fotossintéticos, as espécies apresentaram estratégias conservativas no período de estiagem e aquisitivas no período chuvoso. A partir das análises de composição química do solo e folhas, apresentaram características conservativas em ambos os solos, principalmente em quartzítico. A disponibilidade hídrica sazonal apresentou pouca influência sobre as respostas das espécies, enquanto que o tipo de solo apresentou maior influência. Ambas as espécies possuem atributos foliares que permitem classificá-las dentro da estratégia ecológica estresse-tolerante e são acumuladoras do mineral ferro. *C. mucronata* e *M. pogocephala* apresentam grande variação em função do custo energético frente às estratégias aquisitivas, maximizadas no período chuvoso, em contrapartida às estratégias conservativas em vista das limitações nutricionais, sendo essas mais restritivas em solo quartzítico.

Palavras-chave: Campos rupestres. Respostas fisiológicas. Estratégias conservativas. Estratégias aquisitivas. Estresse-tolerância.

ABSTRACT

SANTOS, Luziene Maria dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2022. **Adaptive strategies of two leguminous species (Fabaceae) in ferruginous and quartzitic rupestrian fields.** Advisor: Eduardo Gusmão Pereira. Co-Advisor: Advânio Inácio.

The rupestrian grasslands are made up of a mosaic of vegetation inserted in regions above 900 m of altitude and has great value for conservation. They occurs in soils with acidic pH, and are divided in: Quartzitic rocky field originated by the decomposition of quartzites, sandstones and itacolomites, with high aluminum concentration and ferruginous rocky fields (canga), from iron formations of compact hematite and fragments of cemented itabirite, with high concentration of iron (Fe) and manganese minerals. The objective of this study was to analyze the adaptive strategies of two leguminous species, *Chamaecrista mucronata* Spreng (H.S.Irwin & Barneby) and *Mimosa pogocephala* Benth (R.C. Barneby), present in the rupestrian grasslands in both soils from the analysis of photosynthetic, water and nutritional responses as a function of the type of soil in which they are found and the seasonal. The work was developed at the Serra da Calçada, between the municipalities of Brumadinho and Nova Lima - MG. Both species showed high photosynthetic efficiency, adjustments to water variation and adopted different strategies for the use of environmental resources. Regarding the xylem hydraulic and photosynthetic attributes, both species showed conservative strategies in the dry season and acquisition in the rainy season. From the analysis of the chemical composition of the soil and leaves, showed conservative characteristics in both soils, but mainly in quartzite. It was observed that seasonal water availability had little influence on species responses, while soil type had a greater about the same. Both species have leaf attributes that allow them to be classified within the stress-tolerant ecological strategy and are iron accumulators of the iron mineral. *C. mucronata* and *M. pogocephala* show great variation in terms of energy cost in relation to acquisition strategies, maximized in the rainy season, as opposed to conservative strategies in view of nutritional limitations, which are more restrictive in quartzite soil.

Keywords: Rupestrian grasslands. Physiological responses. Conservative strategies. Acquisition strategies. Stress-tolerance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1:** Distribuição de Geossistemas ferrífero (vermelho) e quartzítico (branco) ao longo do quadrilátero ferrífero.....20
- Figura 2:** Dados climáticos durante período de estudo em Campo Rupestre de canga e quartzítico. Serra da Calçada - MG.28
- Figura 3:** Aspectos visuais das espécies em área de Campo rupestre na Serra da Calçada. *Chamaecrista mucronata* (A; B) e *Mimosa pogocephala* (C; D).31
- Figura 4:** Fotossíntese (A; A), condutância estomática (gs; B), transpiração (E, C), razão entre a concentração interna e externa de CO₂ (Ci/Ca; G e H), e eficiência no uso da água (EUA; I e J) em *C. mucronata* (A, C, E, G, I) e *M. pogocephala* (B, D, F, H, J).38
- Figura 5:** Clorofila total (A e B), clorofila a (C e D), clorofila b (E e F) e clorofila a/b (G e H) em *C. mucronata* (A, C, E, G) e *M. pogocephala* (B, D, F, H) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.40
- Figura 6:** Eficiência quântica máxima do FSII (A e B), fluorescência inicial (C e D), e rendimento quântico máximo de dissipação regulada de energia não fotoquímica do FSII (E e F) em *C. mucronata* (A, C, E) e *M. pogocephala* (B, D, F) em Campo Rupestre de canga e quartzítico.42
- Figura 7:** Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ_{FSII} ; A e B) e taxa de transporte de elétrons (C e D) em *C. mucronata* (A, C) e *M. pogocephala* (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.44
- Figura 8:** Umidade do solo (US, %) (A e B) e teor relativo de água (TRA, %) (C e D) em *C. mucronata* (A, C) e *M. pogocephala* (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.45
- Figura 9:** Potencial hídrico ao amanhecer (Ψ_{Wam} , MPa) (A e B) e potencial hídrico ao meio dia (Ψ_{Wmd} , MPa) (C e D) em *C. mucronata* (A, C) e *M. pogocephala* (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.47

Figura 10: Condutividade hidráulica de ramos ($KL \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Mpa}^{-1}$, A e B) em <i>C. mucronata</i> (A) e <i>M. pogocephala</i> (B) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.	48
Figura 11: Curva de vulnerabilidade à cavitação ($Kh \text{ Kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Mpa}^{-1}$ A e B) e curva de perda de pressão (PLC% C e D). <i>C. mucronata</i> (A, C) e <i>M. pogocephala</i> (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.	49
Figura 12: Teor de prolina em <i>C. mucronata</i> (A) e <i>M. pogocephala</i> (B) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.	50
Figura 13: Estratégias Ecológicas CSR em <i>C. mucronata</i> e <i>M. pogocephala</i> em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análises físico-químicas do solo realizadas com amostras compostas da área de estudo. Solo de quartzítico e solo de canga em profundidade de 5-10 cm. Final do período de estiagem e final do período chuvoso.	30
Tabela 2: Características químicas do solo rizosférico (0-5 cm de profundidade) em <i>C. mucronata</i> e <i>M. pogocephala</i> em Campo Rupestre ferruginoso (CNG) e quartzítico (QTZ), nos períodos de estiagem e chuvoso.	52
Tabela 3: Características da nutrição foliar em <i>C. mucronata</i> e <i>M. pogocephala</i> em Campo Rupestre ferruginoso (CNG) e quartzítico (QTZ), nos períodos de estiagem e chuvoso.	54
Tabela 4: Atributos foliares em <i>C. mucronata</i> e <i>M. pogocephala</i> em Campo Rupestre ferruginoso (CNG) e quartzítico (QTZ), nos períodos de estiagem e chuvoso.	57
Tabela 5: Equações da regressão de curva de luz (Fig. 7).	76

LISTA DE ABREVIATURAS

A = Taxa de assimilação fotossintética

AF = Área foliar

C. mucronata = *Chamaecrista mucronata*

CEN = Comprimento específico do entrenó

C_i/C_a = Razão entre a concentração interna e externa de CO₂ no mesófilo

CLO a = Clorofila a

CLO b = Clorofila b

CLO a/b = Razão da clorofila a/b

CLO T = Clorofila total

CNG = Canga

CO₂ = Gás carbônico

CP = Comprimento do pecíolo

CONAMA = Conselho Nacional de Meio Ambiente

CR = Campo rupestre

CSR = Competidor; estresse tolerante; ruderal

DFFF – Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos

DR = Decreto regulamentador

E = Transpiração

ETR = Taxa de transporte de elétrons

EUA = Eficiência no uso da água

F₀ = Fluorescência inicial

F_m = Fluorescência máxima do tecido vegetal iluminado

FS = Fotossistema

F_v/F_m = Eficiência quântica máxima do FSII

g_s = Condutância estomática

IS = Instrução de serviço

IRGA = Analisador de gás carbônico no infravermelho

K = Potássio

LMA = Lei da Mata Atlântica

m = Índice de saturação do alumínio

MF = Massa fresca

Mg = Magnésio

Mn = Manganês

MO = Matéria orgânica

M. pogocephala = *Mimosa pogocephala*

MP = Massa do pecíolo

MT = Massa túrgida

MU = Massa úmida

N = Nitrogênio

NPQ_{Max} = Rendimento quântico máximo de dissipação de energia regulada não fotoquímica

P = Fósforo

pH = Potencial hidrogeniônico

PRAD = Plano de recuperação de área degradada

QTZ = Quartzítico

SB = Soma de bases

SISEMA = Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

T = Capacidade de troca catiônica a pH 7,0

t = Capacidade de troca catiônica efetiva

TRA = Teor relativo de água na folha

ΨW_{am} = Potencial hídrico ante manhã

ΨW_{md} = Potencial hídrico ao meio dia

$\phi PSII$ = Rendimento quântico efetivo do PSII

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Campos Rupestres	18
2.2 Quadrilátero Ferrífero e a Mineração	21
2.3 Estratégias Adaptativas de Espécies Vegetais dos Campos Rupestres	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Caracterização da Área de Estudo	26
3.2 Material Vegetal	30
3.3 Delineamento Experimental	32
3.4 Variáveis Avaliadas	32
3.4.1 Análise das Respostas Fotossintéticas	32
3.4.2 Análises das Respostas Hídricas	33
3.4.3 Análise das Respostas Nutricionais	35
3.4.4 Análise dos Atributos Morfológicos e Funcionais	35
4. RESULTADOS	36
4.1 Estratégias Fotossintéticas	36
4.2 Estratégias Hídricas	45
4.3 Estratégias Nutricionais	50
4.4 Estratégias Ecológicas e Atributos Foliares	55
5. DISCUSSÃO	58
6. CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICE	76
Apêndice A - Equações da Regressão	76

1. INTRODUÇÃO

O Campo Rupestre, como fitofisionomia do Cerrado, se encontra entre as 35 regiões terrestres de *Hotspots* de biodiversidade global (MYERS et al., 2000). Além disso, é classificado pela teoria de OCBIL, sigla de *Old Climatically-Buffered, Infertile Landscapes* (HOPPER, 2009), como um ecossistema que possui indivíduos antigos, com baixa capacidade de dispersão e presença de solos inférteis, mas, com alta riqueza e endemismo de espécies vegetais que apresentam inúmeras estratégias adaptativas (ABRAHÃO et al., 2018; HOPPER; SILVEIRA; FIEDLER, 2016; LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2019).

A vegetação do Campo Rupestre encontra-se exposta à alta irradiância, déficit hídrico sazonal, ventos constantes, em uma área com solos drenados e com baixo teor nutricional (KUSTER; DE CASTRO; VALE, 2016). Este solo pode ser formado por arenito-quartzito, sendo caracterizado pela alta concentração de alumínio (Al) e níveis baixos de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) como cátions trocáveis totais. Pode também ser formado por canga ferrífera, onde exibe menor concentração de Al e maiores concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn), além de escassez de nutrientes como nitrogênio (N) e P (ABRAHÃO et al., 2019; HOPPER; SILVEIRA; FIEDLER, 2016). Devido às suas características e principalmente à presença de grandes depósitos de Fe, no campo rupestre de canga ferruginosa (FERREIRA; FERREIRA, 2008), o ambiente se encontra cada vez mais degradado pela atuação da mineração. Desta forma, destaca-se que a preservação e a recuperação dessas áreas são muito importantes.

Dentre as famílias botânicas presentes em Campo Rupestre, a família Fabaceae é representativa neste ecossistema (GIULIETTI; PIRANI, 1988; VIANA; LOMBARDI, 2007). Muitas das espécies dessa família são utilizadas na recuperação de ambientes degradados e com baixa fertilidade. Sua importância ocorre principalmente pela melhoria nos atributos físicos e nutricionais dos solos (FAUSTINO; MARCIANO; ANDRADE, 2021). As espécies contribuem com o aumento dos teores de matéria orgânica no solo e associação simbiótica com microrganismos fixadores de nitrogênio (FIGUEIREDO et al., 2018). As leguminosas auxiliam o estabelecimento de outras espécies, contribuindo na recolonização dos solos; CUNHA NETO et al., (2013), indicaram elevações nos teores de N do solo em áreas de revegetação com a utilização de representantes da Fabaceae. Dentre as leguminosas, os gêneros *Chamaecrista* e *Mimosa* incluem espécies adaptadas às áreas com baixa disponibilidade de nutrientes no solo

(NEGREIROS et al., 2009). Alguns representantes da Fabaceae também são conhecidos por serem considerados vulneráveis à extinção. A lista vermelha do Estado de Minas conta com 28 espécies de leguminosas em áreas de Campo Rupestre, incluindo *M. pogocephala*, classificada como vulnerável. A maioria das espécies ameaçadas são endêmicas a este ecossistema (SCHAEFER et al., 2015).

As condições edáficas do Campo Rupestre funcionam como filtros ambientais sobre as espécies da flora presentes, influenciando os atributos funcionais, suas estratégias ecológicas, dispersão e o estabelecimento das mesmas (SCHAEFER et al., 2015). Alguns autores relataram que diversas espécies do Campo Rupestre apresentam características xeromórficas (CARMO; JACOBI, 2013; MESSIAS et al., 2013), como a presença de cutícula espessa, pilosidade densa, estômatos protegidos em criptas e folhas suculentas (BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2016; CARVALHO; CARNEIRO, 2021), que são responsáveis pelo seu estabelecimento em ambientes onde a disponibilidade hídrica é escassa (CAVALCANTE; CAVALLINI; LIMA, 2009) e as condições edáficas restritivas (RIBEIRO; WALTER, 1998). Ambientes que apresentam escassez de recursos, principalmente de nutrientes, como o Campo Rupestre, favorecem espécies com resistência ao estresse e que possuem estratégias conservativas (ABRAHÃO et al., 2019; AERTS, 1990; CHAPIN III; AUTUMN; PUGNAIRE, 1993; GRIME, 1977). Estas estratégias estão relacionadas com a constituição genética e também aos mecanismos fisiológicos de respostas aos fatores ambientais (SCHÄFER, 2011). A estratégia conservativa é tipicamente encontrada em espécies de crescimento lento, com proteção dos tecidos e órgãos de reserva, folhas de vida longa e com baixa concentração de nutrientes, baixas taxas fotossintética e respiratória e alto investimento de massa seca por área foliar (MASON; DONOVAN, 2015). Espécies vegetais dos Campos Rupestres tendem a apresentar maior eficiência na remobilização foliar de P e N e alta eficiência no uso desses elementos (ABRAHÃO et al., 2018) frente à baixa disponibilidade dos mesmos no solo. Entretanto, em ambientes com alta disponibilidade de nutrientes, prevalece a ocorrência de plantas com a estratégia de aquisição de recursos. Esta é caracterizada pelo crescimento rápido da espécie, folhas com curto tempo de vida, alta concentração de nutrientes, alta taxa fotossintética e de respiração e baixo investimento em massa seca de folhas por unidade de área (WRIGHT et al., 2004).

Muitas espécies vegetais apresentam alterações fisiológicas e morfológicas como a redução da taxa de transpiração e assimilação do carbono em função da sazonalidade (PRADO et al., 2004). Outras espécies mantêm seu desempenho entre as estações de estiagem e chuvosa

(FRANCO; MATSUBARA; ORTHEN, 2007). Dentre as alterações durante o período de estiagem, uma série de modificações são desencadeadas pela limitação do controle estomático. Essa limitação provoca a redução da fotossíntese líquida (ANJUM et al., 2011; BASU et al., 2016), modificação no teor de nitrogênio (BUSTAMANTE et al., 2004; RIOS et al., 2017) e mesmo redução do teor de clorofilas, indicando possível processo de estresse oxidativo (ANJUM et al., 2011). Maior teor de prolina pode ocorrer em plantas tolerantes ao déficit hídrico no solo (ANJUM et al., 2011), como acúmulo de solutos e ajuste osmótico (PEREZ, 1995). Dentre as possíveis alterações, também pode ser evidenciada a elevada dissipação de energia não fotoquímica como estratégia de fotoproteção do aparato fotossintético (FRANCO; MATSUBARA; ORTHEN, 2007; PEREIRA et al., 2018). O controle estomático associado à capacidade de ajustes na condutividade hidráulica contribui para a tolerância da planta ao déficit hídrico (ANJUM et al., 2011), além de ajustes em características morfológicas como modificações e desenvolvimento da raiz (DONATO et al., 2018) e alteração da área foliar e na relação parte aérea/raiz (SCALON et al., 2011).

As características do solo apresentam grande influência sobre as respostas ecofisiológicas das plantas. A ciclagem dos nutrientes é um fator positivo para as plantas de Campo Rupestre e a decomposição da serrapilheira, é determinada principalmente por fatores climáticos, além da própria constituição química foliar das plantas (AERTS, 1990). A baixa disponibilidade nutricional do solo indica padrões de absorção de nutrientes e, plantas adaptadas a solos com limitação nutricional apresentam alta capacidade para absorção de íons como potássio e também a redução da perda de nutrientes. Há também uma caracterização maior das espécies estabelecidas em áreas de baixa nutricional de utilização de estratégias de conservação dos recursos, sendo fator determinante de estratégia de resistência das plantas (NEGREIROS et al., 2014). Enquanto que a sazonalidade hídrica contribui para a relação de mudanças morfológicas e processos fisiológicos nas plantas a fim de reduzir a carga de calor e absorção solar e minimizar a perda de água (MORALES et al., 2014; WANA; BEIERKUHNLEIN, 2011).

As características apresentadas pelas leguminosas tornam *C. mucronata* e *M. pogocephala* promissoras para estudos de recuperação de áreas degradadas, além do fato de que ambas as espécies serem nativas, se desenvolvem em áreas de baixa fertilidade do solo e alta concentração de metais pesados, como em áreas degradadas pela mineração de ferro (RAMOS et al., 2019). Diante desse contexto, o objetivo do presente estudo, visou compreender como as

estratégias adaptativas de ambas as espécies de leguminosas (Fabaceae) variam no Campo Rupestre ferruginoso e quartzítico, quanto aos ajustes fotossintéticos, nutricionais e hidráulicos impostos pelo solo e pela sazonalidade. Dentre as pesquisas existentes, implica-se dizer que, espécies de Campos Rupestres de canga e quartzitos possuem características similares de crescimento e formas de vida entre si. No entanto, seria essas características suficientes para delimitar áreas de preservação ou compensação ambiental? Desta forma, espera-se que as espécies apresentem respostas fotossintéticas, hídricas e nutricionais diferentes em função do tipo de solo. Essas respostas indicam as estratégias adaptativas utilizadas pelas espécies em meio à variação ambiental. Será possível além de conhecer as estratégias utilizadas, propor projetos de recuperação de área degradada com a sua utilização e revelar conhecimentos sobre ambas as espécies, *Chamaecrista mucronata* e *Mimosa pogocephala*, ainda pouco descritas na literatura. Este estudo traz uma contribuição ao fato de que as espécies de Campo Rupestre em solo de canga e quartzítico apresentam características que as tornam únicas e possuem adaptações para lidar com a variação ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este estudo aborda o Campo Rupestre, conceitos e suas características sob a perspectiva da ecofisiologia de duas espécies da família Fabaceae e as respostas ambientais que as mesmas fornecem mediante seu aspecto nutricional e a sazonalidade hídrica da região.

2.1 Campos Rupestres

Campos Rupestres estão localizados principalmente no cerrado brasileiro, consistindo em um mosaico de vegetação que varia de campos naturais a formações florestais (BUSTAMANTE et al., 2012). As fitofisionomias do Cerrado são determinadas pela sazonalidade climática, disponibilidade baixa de nutrientes, alta de Al e ocorrência de fogo. Além das alterações climáticas que ocorreram no Quaternário, bem como relevo e profundidade dos solos (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002). De forma geral, a vegetação do cerrado é frequentemente exposta a alta irradiância, em torno de 800 a 2.500 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, altas temperaturas ao meio-dia, com média entre 25 - 40 °C, e variação sazonal da precipitação, com valores entre 1.450 e 1.800 mm (MORALES et al., 2014). O Cerrado possui duas estações bem

definidas, sendo o período de estiagem com cerca de 10 a 20 % da precipitação anual entre os meses de abril e setembro e o período chuvoso entre outubro a março com cerca de 750 mm a 2000 mm de precipitação anual. Sua topografia é extremamente variável com inserções desde quase ao nível do mar até mais de 1.300 m de altitude (BUSTAMANTE et al., 2012; FURQUIM et al., 2018).

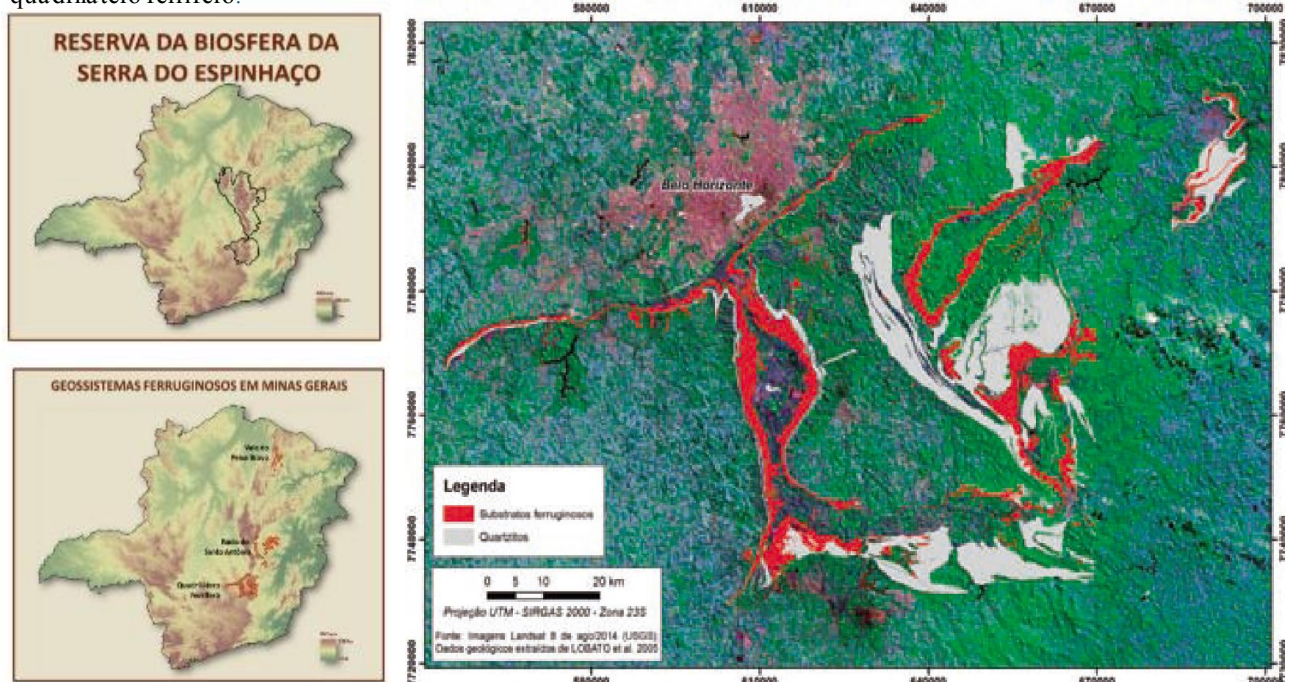
Os Campos Rupestres, como uma das fitofisionomias do Cerrado, ocorrem em altitudes superiores a 900 m e são considerados como um dos 35 *Hotspots* de biodiversidade. Baseado na teoria de OCBILS, é considerado como o terceiro OCBIL em riqueza vegetal (FERNANDES et al., 2020) como um ecossistema antigo com paisagens climaticamente estáveis e inférteis, fundamentais para a conservação da biodiversidade em escala global (MOURÃO; STEHMANN, 2007; SILVEIRA et al., 2016). Os Campos Rupestres são ricos em endemismo e em espécies ameaçadas de extinção. Desta forma, é necessário concentrar esforços para sua conservação e a formulação de políticas públicas ambientais que sejam eficientes e eficazes (HOPPER, 2009; MYERS et al., 2000).

A maioria das cadeias de montanhas onde ocorrem os Campos Rupestres, são do período Pré-cambriano formadas por movimentos tectônicos no paleógeno, associadas principalmente a afloramentos de quartzito, arenito e itabirito distribuídos principalmente ao longo da Cadeia do Espinhaço (SCHAEFER et al., 2015). Essa Cadeia corresponde a um grupo de serras com solos diversificados com lenta desintegração, fracamente desenvolvidos, lixiviados e baixa disponibilidade de nutrientes. Seus solos apresentam propriedades ácidas e profundidade que varia conforme a topografia local. Tais condições traduzem a formação de uma vegetação heterogênea encontrada em poucas regiões do Brasil (GIULIETTI; PIRANI, 1988). O regime climático representativo consiste em invernos secos e verões chuvosos (BUSTAMANTE et al., 2012). Abriga grande variedade de Geossistemas que são formados pelas características do relevo e afloramentos rochosos intercalados com areias, rochas, áreas ácidas, deficientes em nutrientes e com baixa retenção de água (SILVEIRA et al., 2016).

Os Campos Rupestres ocupam uma área menor que 0,8 % do território do país (FERNANDES et al., 2020; MOURÃO; STEHMANN, 2007). Embora a área seja pequena, esses ecossistemas concentram mais de 15 % das espécies nativas de todo o Brasil. Sua área é estimada de 66.447 km² (FERNANDES et al., 2014) com regiões de transição entre o Cerrado, Mata Atlântica e a Caatinga (SILVEIRA et al., 2016). Pode ser localizado nas serras do sul da Bahia, Goiás e Minas Gerais, nesse último Estado, no Quadrilátero Ferrífero. Na maior parte

da Cadeia do Espinhaço, Chapada Diamantina e Serra do Cipó, bem como na região de Nova Lima na Serra da Calçada, predominam o solo de quartzito sendo bastante arenoso. Ocorrem também pequenos sítios vestigiais de forma isolada no Estado de Pernambuco, Mato Grosso e Paraíba. No Quadrilátero Ferrífero (Fig. 1) e na Serra de Carajás no Pará predomina a canga ferruginosa (SILVEIRA et al., 2016).

Figura 1: Distribuição de Geossistemas ferrífero (vermelho) e quartzítico (branco) ao longo do quadrilátero ferrífero.



Fonte: Adaptado de FLÁVIO et al., 2017; SCHAEFER et al., 2015.

Os Campos Rupestres são considerados ecossistemas compostos por comunidades que coevoluíram como tipos vegetacionais dominantes, que compreende um mosaico de formações de espécies subarbustivas e herbáceas com alto grau de endemismo sobre afloramentos rochosos (PYLRO et al., 2011). Sua composição florística é moldada principalmente por alta incidência de luz, grande atividade de incêndios e longo período de déficit hídrico promovendo adaptações das plantas a este ambiente, sejam elas fisiológicas, bioquímicas, morfológicas e estruturais, diferenciando as espécies de outras regiões (FERNANDES et al., 2020).

Estudos sugerem que algumas linhagens de espécies que ocorrem nos Campos Rupestres podem ser mais antigas que aquelas descritas no cerrado em vários milhões de anos

(FERNANDES et al., 2020). A Lista de Espécies da Flora Brasileira de 2015, indica que o Campo Rupestre apresenta 5.000 espécies de plantas vasculares nativas distribuídas em 134 famílias e 753 gêneros, sendo a Fabaceae a família mais representativa (SILVEIRA et al., 2016). Esse ecossistema também possui grande relevância econômica diante de sua exploração minerária (PILÓ; COELHO; REINO, 2015), principalmente com a extração de minério de Fe na canga ferruginosa. A canga é subdividida em dois ambientes, sendo a canga couraçada e a canga nodular (CARMO; JACOBI, 2013; MOURÃO; STEHMANN, 2007; PILÓ; COELHO; REINO, 2015). A canga couraçada é uma massa ferrosa sólida, formando uma laje sobre o solo e esta é formada por cavidades mais capacitada a formar uma comunidade que seja mais adaptada ao ambiente rupícola (MOURÃO; STEHMANN, 2007). A canga nodular é uma massa que se encontra fragmentada em placas pequenas que são penetráveis podendo chegar em alguns lugares há mais de 30 m de espessura (JACOBI; CARMO, 2008; MOURÃO; STEHMANN, 2007). Devido sua distribuição em áreas de difícil acesso e por recobrirem importantes depósitos ferríferos, os afloramentos de campos rupestres estão entre os mais ameaçados ecossistemas e menos estudados de Minas Gerais (JACOBI; DO CARMO; VINCENT, 2008). Esta é uma das causas de insucesso em projetos de restauração e conservação ambiental (MESSIAS et al., 2012).

2.2 Quadrilátero Ferrífero e a Mineração

O Quadrilátero Ferrífero possui uma área aproximada de 7.200 km² do extremo sul da Cadeia do Espinhaço, considerada altamente diversificada em espécies florísticas e com mais de 30% de endemismo (GIULIETTI; PIRANI, 1988). Está inserido em uma região de transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica e possui grande importância biológica. Também possui importância econômica devido sua formação rochosa, parte constituída de minério de ferro e a presença de inúmeras mineradoras instaladas ao longo de sua formação. Tais mineradoras garantem 60 % do escoamento de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero (CASTRO; ENDO; GANDINI, 2020). Minas Gerais é, portanto, o segundo Estado com maior porcentagem de arrecadação total provenientes da extração de minério de ferro com 43,7 %, atrás somente do Estado do Pará, com ganhos de 47,5 % (IBRAM, 2021). No entanto, enquanto o desenvolvimento social e financeiro ocorre, há perda na biodiversidade, na qualidade do solo e dos recursos hídricos. Sua extração promove alteração de toda a superfície do solo e cobertura

vegetal, sendo uma atividade de alto impacto ambiental (MESSIAS et al., 2012; MOURÃO; STEHMANN, 2007).

A partir do final da década de 1980, as empresas minerárias foram obrigadas por lei a mitigar os impactos causados ao meio ambiente e a recuperar as áreas degradadas. A Constituição Federal de 1988, em seu artigo nº 225, juntamente com os Decretos Regulamentadores nº 97.632/89 e 99.274/90 e a Lei nº 6.938/81, indicam a obrigatoriedade da recuperação de áreas cujos impactos ambientais não tenham sido evitados. A Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto Nº 99.274/90, (BRASIL, 1981) que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), e afirma que a PNMA visará a:

VII – (...) obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos (BRASIL, 1981).

O Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989 (BRASIL, 1989) que dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei Nº 6.938 determina:

Art. 1º - Os empreendimentos que se destinem à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), submeter à aprovação do órgão ambiental competente um plano de recuperação de área degradada (BRASIL, 1989).

Em seu Art. 2º, ele define o conceito de degradação:

(...) são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais (BRASIL, 1989).

No Art. 3º, o Decreto estabelece a finalidade dos Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) que consiste em possibilitar o retorno do sítio degradado a um estado satisfatório de estabilidade ambiental. A recuperação de uma área degradada de Campo Rupestre exige que se tenha conhecimentos sobre o ecossistema, os solos presentes, espécies a serem utilizadas e modelos a serem trabalhados. O retorno do local degradado a uma forma de utilização previamente estabelecido ao uso e ocupação do solo de forma a trazer estabilidade ao meio ambiente é objetivo da recuperação ambiental (BRASIL, 1989). Desta forma, compreender as relações que ocorrem em um ecossistema com relações antagônicas e sinérgicas é importante para realizar avaliação para escolha de métodos para manejo do solo e práticas que beneficiem as relações químicas, físicas e biológicas daquele ambiente, promovendo uma prática e recuperação ambiental ou preservação que seja mais adequada.

A exploração do minério de ferro presente no solo de canga ferruginosa faz com que o ecossistema se torne alvo para inúmeras atividades minerárias (JACOBI et al., 2007; MOURÃO; STEHMANN, 2007). Tais atividades podem acarretar o processo de extinção de diversas espécies vegetais presentes. Com isso, Campos Rupestres são fortemente negligenciados, o que requer a implantação de ações para sua preservação (LE STRADIC; FERNANDES; BUISSON, 2018). A falta de conhecimento e estudos sobre este ecossistema é uma das causas de insucesso de projetos de recuperação ambiental (MESSIAS et al., 2012) devido aos poucos argumentos científicos de pesquisa comprovados.

A Lei nº 11.428 de 2006 (BRASIL, 2006) define diretrizes sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, definida por lei específica e por seu Decreto Regulamentador (DR) nº 6.660 de 2008. Este decreto indica que os demais ecossistemas no limite desse bioma também devem ser preservados, fazendo parte o Cerrado e suas fitofisionomias, como Campo Rupestre e Campos de Altitude.

O quantitativo da compensação ambiental, deverá ser o dobro da área a ser suprimida, mas na impossibilidade, o órgão ambiental pode admitir que metade da área a ser compensada possa ser realizada em área e características ecológicas aproximadas. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução 423/2010 (CONAMA, 2010) para auxiliar na implementação da Lei da Mata Atlântica (LMA) que define os critérios específicos para classificação sucessional de vegetação de Campo de Altitude incluindo lista de espécies em cada fase de regeneração. Em analogia, tem sido utilizada para o licenciamento ambiental em áreas de Campo Rupestre, embora apresente fortes diferenças em relação a geologia e características florísticas (FERNANDES et al., 2020). Ainda não existem políticas rígidas para proteção desse ecossistema e apenas 29,4 % do Campo Rupestre de Minas Gerais está inserido na área de aplicação da LMA.

A Instrução de Serviço (IS) do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) 02/2007 (MINAS GERAIS, 2017), informa que pode ocorrer a permissão da supressão do Campo Rupestre ferruginoso de forma que esta seja compensada com a manutenção de área de Campo Rupestre quartzítico, embora não atendam aos mesmos critérios de similaridade ecológica e mesmo ecossistema, contanto que esteja dentro da mesma área de vegetação de Floresta de Mata Atlântica. Retornando o DR 6.660, sobre as áreas adjacentes, é permitida a prática a partir de ganho ambiental, que será analisado em proposta com a função de reforçar a importância ecológica da área, sem prejuízo ambiental (MINAS GERAIS, 2017).

Para verificar as mesmas características ecológicas entre as áreas de supressão e de compensação, devem ser verificados os aspectos de fitofisionomia, riqueza, endemismo, relevo, hidrografia, solo e espécies florais (MINAS GERAIS, 2017). No entanto, os poucos estudos existentes, demonstram que é impossível alcançar uma perda não considerável da vegetação nativa de canga em uma regra de compensação ambiental de *habitat* para outro que seja diferente (SILVEIRA et al., 2016).

Desta forma, faz-se necessário a realização de novos e diversos estudos que vise contribuir para o conhecimento das espécies presentes em Campo Rupestre, suas características e estratégias adaptativas ao ambiente e contribuição ao fato de que as espécies de Campo Rupestre em solo de canga e quartzítico apresentam características que as tornam únicas e possuem adaptações para lidar com a variação ambiental. Além de promoção de medidas públicas para conservação do Campo Rupestre solo de canga e quartzítico em vista ao processo de mineração.

2.3 Estratégias Adaptativas de Espécies Vegetais dos Campos Rupestres

Entende-se por características adaptativas aquelas adquiridas a partir da mudança genética de uma população inteira por um processo de seleção, fixado ao longo de gerações, devido às modificações ambientais (HARPER; OGDEN, 1970). Um indivíduo com uma variante de um caráter pode ter maior aptidão ao ambiente que outro indivíduo da mesma espécie. Como resultado, este indivíduo pode transmitir seus genes à geração seguinte e por proporcionar vantagem seletiva, a frequência da variante aumenta na população (HARPER; OGDEN, 1970). Essas características adaptativas são tão consolidadas que pequenas variações no ambiente não modificarão o fenótipo da planta. As características abióticas do ecossistema de Campo Rupestre incluem a variação sazonal com a disponibilidade hídrica, limitações nutricionais do solo, alta exposição à radiação (incluindo radiação ultravioleta) e ventos fortes (NEGREIROS et al., 2013). Esses fatores atuam como filtros (NEGREIROS et al., 2014; PIERCE et al., 2007) que definem estratégias de sobrevivência das plantas (NEGREIROS et al., 2014). As espécies apresentam mecanismos de resistência às condições extremas destes ambientes a partir de modificações morfológicas e fisiológicas (JACOBI; DO CARMO; VINCENT, 2008). Esses mecanismos geram uma seleção rigorosa de indivíduos resultando no surgimento de espécies endêmicas (MOURÃO; STEHMANN, 2007).

Dentre as principais características adaptativas das espécies vegetais encontradas em Campo Rupestre destacam-se adaptações morfológicas e fisiológicas para aquisição e utilização eficiente de recursos (NEGREIROS et al., 2014). Muitas espécies contam com a presença de tricomas foliares, raízes aéreas, alteração da morfologia como diminuição da área foliar e aumento de massa foliar ou encurtamento de entrenós. Há também estratégias alternativas de aquisição de nutrientes em Campo Rupestre como a carnivoría e protocarnivoría (OLIVEIRA et al., 2015). A baixa disponibilidade hídrica pode induzir o estresse hídrico em plantas não adaptadas à sazonalidade do Campo Rupestre, o que pode afetar diretamente na fotossíntese (BASU et al., 2016). Dentre as respostas adaptativas que as plantas apresentam e que contribuem para reduzir os danos à fotossíntese, inclui a dissipação térmica de energia não fotoquímica. Outra adaptação está vinculada à esclerofília, o que auxilia na redução da condutância estomática e da área de superfície do cloroplasto que é exposto ao espaço intercelular da área foliar, bem como a redução da densidade estomática em período de estiagem (BASU et al., 2016), além da poiquiloidria (JACOBI; CARMO, 2008). Tais adaptações levam a um aumento da eficiência de uso da água (*EUA*) e aumento do rendimento fotossintético. O ajuste osmótico também está vinculado às adaptações de prevenção hídrica que implica na manutenção dos estômatos, condutância, fotossíntese e aumento da concentração de solutos como a prolina (BASU et al., 2016). Frente ao tipo de solo, com baixa disponibilidade de nutrientes como P e sua relação com o N, as principais adaptações estão relacionadas à aquisição de nutrientes e a alta eficiência em seu uso (ABRAHÃO et al., 2019). Espécies vegetais dos Campos Rupestres como representantes da Fabaceae podem estabelecer associação com bactérias fixadoras de nitrogênio gerando aumento da disponibilidade de nutrientes como nitrogênio. A partir da alta concentração característica dos solos de Campo Rupestre de metais como Al e Fe, uma das adaptações das espécies presentes, está relacionada à hiperacumulação foliar de alguns nutrientes como o Fe, sem, contudo, promover perda nos aspectos fisiológicas das plantas (PORTO; SILVA, 1989).

As espécies vegetais também apresentam estratégias ecológicas que GRIME; PIERCE, (2012) as relacionam de acordo com os atributos funcionais das plantas baseados na interferência dos fatores ambientais externos. Esses fatores limitam a biomassa vegetal e podem ser caracterizados de dois tipos: o Estresse que condiz com condições que restringem a produção de biomassa como a baixa disponibilidade de água e de nutrientes e; a Perturbação que é vinculada à destruição, seja parcial ou total da biomassa a partir da herbivoría, patógenos, ações do homem ou do clima. Quando o conjunto de combinações dessas duas categorias é

analisado, é possível verificar o surgimento das estratégias ecológicas CSR (GRIME, 1977). A teoria CSR (GRIME, 1974, 1977), classifica as plantas em três grupos baseados em suas estratégias de sucessão vegetal e em seus atributos morfológicos como: (C) - Competidora, (S) – Tolerante ao estresse, (R) – Ruderal, representados por sua posição em um triângulo. A estratégia Competidora, caracteriza basicamente plantas altas e de folhas grandes com intermediário início de florescimento e frutificação associado com baixo estresse e baixa perturbação. A estratégia Estresse-tolerante, bem desenvolvida em espécies de Campo Rupestre, se define a partir de características como plantas curtas e folhas menores, apresentam características de economia de nutrientes, folhas conservadoras como baixa área foliar e concentração de nitrogênio e rápida fase reprodutiva. A partir da combinação de alto estresse e baixa perturbação. Todavia na estratégia Ruderal, as plantas apesar de apresentarem folhas pequenas, investem na aquisição de nutrientes e desenvolvimento reprodutivo precoce (PIERCE et al., 2007) a partir da combinação de baixo estresse e alta perturbação (GRIME, 1977). Tais estratégias de sobrevivência das plantas são definidas a partir de *trade-offs* entre a capacidade de competir com outras plantas no mesmo ambiente, tolerar perturbações ambientais ou sobreviver a destruição parcial de sua biomassa (NEGREIROS et al., 2014).

As espécies presentes nos Campos Rupestres apresentam alto grau de tolerância ao estresse quando analisando a conexão entre os atributos vegetacionais e a estrutura de seu *habitat*, o que as capacita em lidar com os filtros ambientais (CARMO; JACOBI, 2013) e permite que as espécies se estabeleçam em ecossistemas com variáveis ambientais distintas. Uma dessas capacidades está vinculada à aclimatação, habilidade que um organismo possui em alterar sua fisiologia e morfologia conforme o genótipo expressa a amplitude dos caracteres adaptativos em resposta às mudanças das condições do ambiente (VALLADARES et al., 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

Este estudo foi realizado diretamente em campo, na área de abrangência do Conjunto Histórico, Paisagístico e Cultural da Serra da Calçada. Esta, encontra-se inserida na porção sul da Cadeia do Espinhaço, no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. Esta região se estende por cerca de 8 km, pelos municípios de Brumadinho e Nova Lima em área Metropolitana de Belo

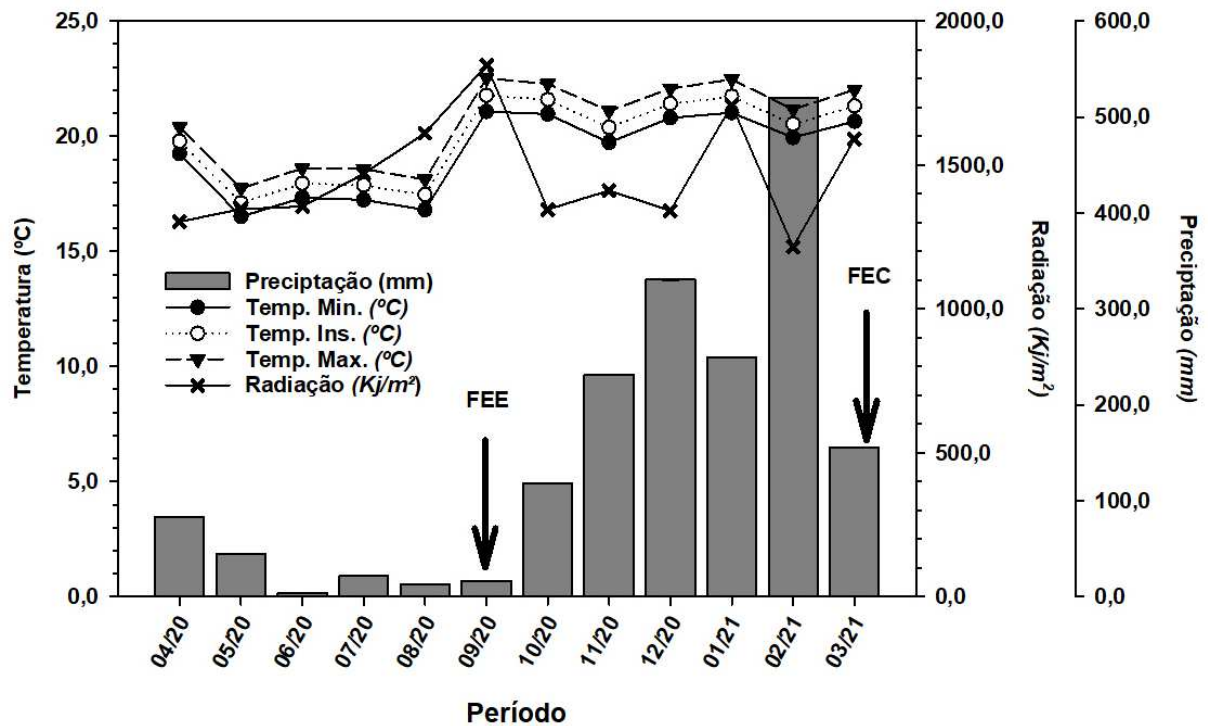
Horizonte. A Serra da Calçada está inserida na bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba e do Rio das Velhas, perfazendo divisa com as Serra do Rola Moça e da Moeda (NETO; TOFANI, 2021), sob coordenadas geográficas 20°05'55.2"S e 43°58'58.2"O e altitude de 1463 m.

A Serra da Calçada é uma Área de Proteção Ambiental (APA) criada pela Lei nº 13.960, de 26 de julho de 2001, e administrada pela VALE S.A. A área possui inúmeras nascentes e é rica em diversidade de fauna e flora com espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Este ecossistema, assim como outros ao longo da Cadeia do Espinhaço, apresenta solos intercalados de quartzito e canga ferruginosa (SCHAEFER et al., 2015).

O clima na região da Serra da Calçada é classificado como Aw – tropical. A média de pluviosidade no período de estiagem (abril a setembro/2020) foi de 182,8 mm enquanto que a radiação global 1.489,52 KJ/m² e a média da temperatura máxima de 19,32 °C. A umidade relativa máxima foi de 68,28 %. O período chuvoso (outubro/2020 a março/2021), apresentou médias de 1605,6 mm de pluviosidade, enquanto que a média da radiação global foi de 1.437,44 KJ/m², a média da temperatura máxima de 21,87 °C e a média da umidade relativa máxima foi de 74,82 % (INMET, 2022). Os dados das variáveis climatológicas foram coletados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada na Serra do Rola Moça que faz divisa com a Serra da Calçada em Brumadinho, distante 8 km em linha reta. Apresenta coordenadas geográficas -20,031457 e -44,011249 e encontra-se a 1198,82 m de altura.

A coleta de dados em campo deste estudo foi executada em duas etapas, sendo a primeira correspondente ao final do período de estiagem em setembro de 2020 e a segunda ao final do período chuvoso em março de 2021. No mês de coleta do período de estiagem o volume médio de precipitação foi de 16,6 mm e a temperaturas média foi de 21,8 °C, enquanto a radiação apresentou média de 1.846,67 KJ m⁻². No período chuvoso o índice médio pluviométrico foi de 155,8 mm e a temperatura média foi de 21,33 °C, com radiação média de 1.590,54 KJ m⁻² (Fig. 02).

Figura 2: Dados climáticos durante período de estudo em Campo Rupestre de canga e quartzítico. Serra da Calçada - MG.



Setas indicam período de coleta – FEE: Final da estação de estiagem (setembro/2020) e FEC: Final da estação chuvosa (março/2021); Barras indicam precipitação em (mm); Linha contínua com marcador no formato de X indica radiação (KJ/m²); Linha pontilhada com marcador no formato de círculo transparente indica temperatura (°C) instantânea; Linha contínua com marcador no formato de círculo preenchido, indica temperatura (°C) mínima; Linha tracejada com marcador no formato de triângulo preenchido indica temperatura (°C) máxima. Fonte: Autores, 2022 a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2021 -2022.

O estudo foi realizado em dez parcelas de 10 x 10 m estabelecidas em área de canga e outras dez parcelas em área de quartzito, definidas a partir do estudo de GOMES et al., (2021).

Em ambas as datas de coleta foram obtidos os dados de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) a cada hora do dia a partir do uso do foto-radiômetro HD2102.2 (Delta OHM, Itália) acoplado ao sensor LP471PAR. O equipamento foi instalado a cerca de 2 m acima do solo. Em seguida foi realizada a média dos valores de DFFF obtidos, obtendo-se a média de DFFF do dia de coleta. A temperatura ambiental e do solo foram medidas a cada hora a partir do uso de um termopar tipo K associado a um dataloger modelo 1384 (Omega, Taiwan). As hastes do termopar foram inseridas no solo a fim de aferir a temperatura do mesmo, enquanto que as hastes que aferiram a temperatura do ar foram fixadas a cerca de 1,5 m do solo. No período de estiagem, as parcelas de canga apresentaram valores médios de temperatura do solo

e do ar de 37,1 e 29,6 °C, respectivamente, e DFFF de 1.226,23 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. No quartzítico, as temperaturas médias do solo e do ar foram de 23,5 e 29,1 °C, respectivamente, com DFFF de 1517,78 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. No período chuvoso foram obtidos em canga temperaturas médias do solo e do ar de 21,8 e 19,9 °C, respectivamente, e DFFF de 449,36 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. No quartzítico, a temperatura média do solo foi de 23,5 °C e a do ar de 29,1 °C, com DFFF máxima de 1.382,23 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os solos de canga e quartzítico distam cerca de 2,5 km entre si.

A caracterização química de fertilidade dos solos, foi realizada a partir de amostras compostas de ambos os solos e períodos (0-5 cm de profundidade), seguindo os procedimentos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (TEIXEIRA et al., 2017). Os solos foram classificados como franco-arenosos. O solo de canga apresenta teores de areia grossa, soma de bases (SB) e elementos como Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} superior ao solo de quartzítico (Tab. 1).

Tabela 1: Análises físico-químicas do solo realizadas com amostras compostas da área de estudo. Solo de quartzítico e solo de canga em profundidade de 5-10 cm. Final do período de estiagem e final do período chuvoso.

<i>Atributos</i>	<i>Canga</i>		<i>Quartzito</i>	
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
K mg/dm ³	51	39	51	41
Ca²⁺ cmolc/dm ³	2,42	2,00	0,67	0,62
Mg²⁺ cmolc/dm ³	0,51	0,41	0,18	0,18
Al³⁺ cmolc/dm ³	0,59	0,59	1,27	1,27
H + Al cmolc/dm ³	13,4	11,3	7,2	7,1
pH H ₂ O	4,75	4,81	4,68	4,85
SB cmolc/dm ³	3,06	2,51	0,98	0,91
t cmolc/dm ³	3,65	3,10	2,25	8,01
T cmolc/dm ³	16,46	13,81	8,18	8,01
V %	18,6	18,2	12,0	11,4
m %	16,2	19	56,4	58,3
P-rem mg/L	36,2	37,1	37,5	36
Cu mg/dm ³	0,00	0,00	0,00	0,00
Areia grossa Kg/Kg	0,55	0,55	0,42	0,36
Areia fina Kg/Kg	0,09	0,10	0,31	0,37
Silte Kg/Kg	0,17	0,18	0,16	0,15
Argila Kg/Kg	0,20	0,18	0,11	0,12
Classificação textura	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa

Dados: Na - K - Cu - Cd - Pb - Ni - Campo Rupestre - Extrator Mehlich-1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação por Bases; m = Índice de Saturação por Alumínio; P-rem = Fósforo Remanescente. S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético; B - Extrator água quente N - N total - Digestão sulfúrica - Destilação Kjeldhal. (n = 10). Fonte: Autores, 2022.

3.2 Material Vegetal

Foram investigadas duas espécies da família Fabaceae: *Chamaecrista mucronata* Spreng (H.S.Irwin & Barneby) e *Mimosa pogocephala* Benth (R. C. Barneby) (Fig. 3). *Chamaecrista mucronata* é um arbusto ereto (RANDO; PIRANI, 2011), restrito ao Brasil de

ocorrência em Pernambuco, Bahia, Alagoas, Sergipe e Minas Gerais, podendo ser encontrada na Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (FORZZA, 2010; RANDO; PIRANI, 2011). Seu centro de diversidade são os campos rupestres (ZAPPI et al., 2003). Sua localização se concentra ao entorno da cadeia do Espinhaço seguindo até o Espírito Santo em solo arenoso até o nível do mar (RANDO, 2009). *Mimosa pogocephala* é uma espécie endêmica do quadrilátero ferrífero sobre itabirito e canga entre 1.000 e 1.850 m de altitude. Ambas são espécies consideradas como vulneráveis à extinção pela Deliberação COPAM nº367, de 1 de dezembro de 2008 (CARMO et al., 2019; DUTRA; GARCIA; LIMA, 2008).

Figura 3: Aspectos visuais das espécies em área de Campo rupestre na Serra da Calçada. *Chamaecrista mucronata* (A; B) e *Mimosa pogocephala* (C; D).



Fonte: Autores, 2022.

Dez indivíduos de cada espécie foram selecionados de forma aleatória nas parcelas demarcadas previamente nos solos de canga e quartzítico. Os mesmos receberam uma etiqueta numerada e foi realizada a marcação das coordenadas geográficas. A coletas de material vegetal e medições foram realizadas ao final do período de estiagem e ao final do período chuvoso.

3.3 Delineamento Experimental

O delineamento experimental deste estudo foi baseado no modelo inteiramente casualizado (DIC) em dez repetições. Para cada espécie (*C. mucronata* e *M. pogocephala*), foi realizada a análise em arranjo fatorial 2x2, sendo dois ambientes (solo de canga e quartzítico) e dois períodos sazonais (estiagem e chuvoso).

3.4 Variáveis Avaliadas

3.4.1 Análise das Respostas Fotossintéticas

As trocas gasosas foram medidas entre 7:30 e 12:30 h. As medições foram realizadas com analisador de gases por radiação infravermelha (LI-6400xt Li-Cor Inc., Lincoln, Nebraska, EUA). A terceira folha totalmente expandida, exposta ao sol e sem sinais de herbivoria foi amostrada de cada planta. As análises consistiram na determinação de: Fotossíntese líquida máxima (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); taxa de transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); razão da concentração interna e externa de CO_2 na folha (C_i/C_a); e eficiência instantânea do uso da água (EUA) ($A/E \mu\text{mol CO}_2 \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Os dados foram analisados após correção da área foliar medida no interior da câmara. As medições foram realizadas com concentração de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ DFFF de $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com médias de temperatura e umidade do ar de 29°C e 49% , respectivamente.

A avaliação dos índices de clorofila a e b , razão clorofila a/b e $total$ foram realizadas nos mesmos dias das medidas de trocas gasosas, com o auxílio do equipamento Clorofilog, (CFL1030, Falker, Porto 136 Alegre, RS, Brasil). O resultado para cada folha foi obtido a partir da média de três medidas em diferentes folíolos. Medições de fluorescência da clorofila a foram realizadas simultaneamente com as medições de clorofila, nas mesmas folhas em que ocorreram as medidas de trocas gasosas, com o auxílio do medidor de fluorescência modulada (Mini-PAM, Heinz Walz, Effeltrich, Germany), no período entre 7 e 11 h. O folíolo foi aclimatado ao

escuro por no mínimo 30 min com o auxílio de pinças. Em seguida, um pulso fraco de luz vermelha de cerca de $1 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi aplicado e determinada a fluoresc\u00eancia inicial (F_0). Na sequ\u00eancia, um pulso de luz act\u00ednica ($12.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi aplicado e determinada a fluoresc\u00eancia m\u00e1xima (F_m). Os dados obtidos foram utilizados para o c\u00e1lculo da efici\u00eancia qu\u00e2ntica m\u00e1xima do fotossistema II, $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$ (GENTY; BRIANTAIS; BAKER, 1989). Por fim, foram realizadas medi\u00e7\u00f5es de curva de luz r\u00e1pida em que as folhas foram expostas \u00e0 diferentes intensidades de luz act\u00ednica ($0-2.000 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante nove intervalos de 10 s, os quais foram obtidos os par\u00e2metros de fluoresc\u00eancia em estado estacion\u00e1rio (F_s) e fluoresc\u00eancia m\u00e1xima adaptada \u00e0 luz (F_m'). A partir destes dados foi poss\u00edvel realizar o c\u00e1lculo do rendimento qu\u00e2ntico efetivo do fotossistema II ($\phi_{\text{FSII}} = (F_m' - F) / F_m'$); taxa de transporte de el\u00e9trons ($\text{ETR} = \phi_{\text{FSII}} \times \text{PPFD} \times 0,5 \times l_A$) (BILGER; SCHREIBER; BOCK, 1995), onde 0,5 \u00e9 a propor\u00e7\u00e3o de f\u00f3tons destinados aos fotossistemas I e II (MELIS; SPANGFORT; ANDERSSON, 1987) e l_A \u00e9 a absorv\u00eancia foliar. Tamb\u00e9m foi calculado o coeficiente m\u00e1ximo de dissipac\u00e3o de energia n\u00e3o fotoqu\u00edmica na irradi\u00e2ncia de saturac\u00e3o ($\text{NPQ}_{\text{Max}} = (F_m - F_m') / F_m'$).

3.4.2 An\u00e1lises das Respostas H\u00eddricas

O teor de umidade do solo foi determinado no local de ocorr\u00eancia de cada um dos dez indiv\u00edduos de *C. mucronata* e *M. pogocephala* em Campo Rupestre de canga e quartz\u00edtico. Cada amostra de solo coletada foi acondicionada em placas de Petri de vidro e vedadas com parafilme. Em laborat\u00f3rio as placas foram pesadas e submetidas a secagem em estufa de circula\u00e7\u00e3o for\u00e7ada de ar a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 h. Ap\u00f3s secagem, as placas foram inseridas em dessecador de vidro at\u00e9 a temperatura ambiente e foram ent\u00e3o novamente pesadas. A umidade do solo foi determinada em base gravim\u00e9trica, sendo calculada por: $(\%) = 100 * [(MU - MS) / MS]$ onde MU (massa \u00famida) e MS (massa seca) (TEIXEIRA et al., 2017).

O potencial h\u00eddrico foliar foi avaliado na antemanh\u00e3 ($\Psi_{W_{\text{am}}}$ MPa) e ao meio ($\Psi_{W_{\text{md}}}$ MPa) com o aux\u00edlio de uma c\u00e2mara de press\u00e3o port\u00e1til tipo Scholander (M-1505D Pressure Chamber – PMS Instrument Company) em uma folha completamente expandida de cada indiv\u00edduo de cada esp\u00e9cie em cada \u00e1rea e per\u00edodo (SCHOLANDER et al., 1965).

A condutividade hidr\u00e1ulica foliar ($KL \text{ mmolm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ Mpa}^{-1}$) foi obtida utilizando a metodologia de BRODRIBB; HOLBROOK, (2003). Na antemanh\u00e3 ap\u00f3s a realiza\u00e7\u00e3o do $\Psi_{W_{\text{am}}}$

Mpa, as folhas e seus ramos foram ensacados e envoltos por papel alumínio por um período mínimo de seis horas. Após a medição da E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) pelo IRGA, foi realizada a medição do ΨW_{md} (MPa) nas folhas de ramos ensacados. A KL ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Mpa}^{-1}$) foi obtida pela diferença entre o ΨW (MPa) e a transpiração, calculada segundo a Lei de Ohm: $K_L = E / \Delta\Psi_{\text{caule - folha}}$, expressa em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Mpa}^{-1}$.

Ao final do dia (por volta das 16 h), ramos com folhas totalmente expandidas e expostas à radiação solar foram coletados, identificados e inseridos em baldes com água. Os ramos foram novamente excisados, cobertos com saco plástico escuro e levados ao laboratório. Seis folíolos foram separados e determinada a massa fresca (MF). Em seguida, os folíolos foram imersos em água destilada em placa de Petri e mantidas a 5 °C por 24 h. Após esse período foi realizada a pesagem da massa turgida (MT). O material vegetal foi então inserido em saco de papel previamente identificado e levado para secagem em estufa a 65 °C por 48 h para determinação da massa seca (MS). O teor relativo de água (TRA) foi obtido pela diferença entre a massa fresca e seca dividido pela diferença da massa túrgida e seca: $\text{TRA} = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$ (BARRS; WEATHERLEYT, 1962).

A análise da vulnerabilidade à cavitação ($Kh \text{ Kgm}^{-1} \text{Mpa}^{-1} \text{s}^{-1}$) foi realizada no período chuvoso. Segmentos do caule dos indivíduos foram coletados conforme descrito anteriormente e levados ao laboratório onde foram lavados em água corrente de forma a remover todas as partículas de solo e novamente excisados sob coluna d'água. Os mesmos foram mantidos por doze horas no escuro e em temperatura de 18 °C. Foi realizada a montagem da bomba de cavitação tipo Scholander, acoplada ao cilindro de gás nitrogênio comprimido a fim de fornecer a pressão necessária ao xilema das plantas para a decorrência da análise. No momento da análise os ramos foram novamente excisados em ambas as extremidades em água para evitar embolia e inseridos na câmara de cavitação (M-1505D-EXP External Port – Cavitation Chamber – PMS Instrument Company). O método visa medir a redução da condutância hidráulica do xilema enquanto que o processo de cavitação é induzida a partir da inserção de ar em alta pressão através dos elementos de vaso do caule excisado. A pressão exercida sobre o xilema foi de 5 Bar; 15 Bar; 25 Bar; 35 Bar; 50 Bar; 65 Bar; 80 Bar. À medida que ocorria o aumento de pressão, exsudado era liberado e coletado em intervalos de cinco minutos com o auxílio de um *ependorf* com algodão previamente pesado e identificado (SPERRY; SALIENDRA, 1994). A análise de vulnerabilidade a cavitação ($Kh \text{ Kgm}^{-1} \text{Mpa}^{-1} \text{s}^{-1}$) foi obtida pela razão entre o fluxo de água (F , Kg s^{-1}) através de um segmento do ramo excisado em função do gradiente de pressão

(dP/dx , MPa m^{-1}): $K_h = F / (dP/dx)$ (TYREE; SPERRY, 1989), onde dP/dx é a pressão hidrostática do gradiente no xilema (TYREE; EWERS, 1991). A perda percentual de condutividade foi calculada como $PLC = 100 \times (K_h - K_{hi}) / K_h$, a partir da diferença do valor de cavitação no ponto de medida e ponto inicial.

3.4.3 Análise das Respostas Nutricionais

Análise química do solo rizosférico (CARDOSO; ANDREOTE, 2016) e a análise química das folhas de cada indivíduo amostrado, foram realizadas nos solos de canga e quartzítico, no período de estiagem e chuvoso. Os seguintes atributos do solo foram avaliados: potencial hidrogeniônico (pH), teores disponíveis de fósforo (P), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), e matéria orgânica (MO), seguindo protocolo descrito por TEIXEIRA et al., (2017). As folhas foram submetidas à secagem em estufa de circulação de ar a 65 °C e analisadas quanto aos teores de N (KJELDAHL, 1883), Fe, P, Mn e Zn (VACCARO et al., 2004).

3.4.4 Análise dos Atributos Morfológicos e Funcionais

Segmentos de caule foram coletados conforme descrito anteriormente e lavados em água corrente, sendo posteriormente mantidos em água deionizada em sala refrigerada por 12 h. Posteriormente foi realizada a separação das folhas para as análises.

Folhas totalmente expandidas, localizadas no terceiro nó a partir da gema apical, foram utilizadas para a análise de impressão epidérmica segundo técnica de SEGATTO et al., (2004). Imagens de dez campos para cada indivíduo foram obtidas e realizada a contagem para cálculo da densidade estomática em número de estômatos por unidade de área, com auxílio do fotomicroscópio Axio A2 Image e do Software Axio Vision (Zeiss imagin systems). A densidade foi obtida para ambas as faces: abaxial (Aba) e adaxial (Ada).

Três folhas totalmente expandidas de cada indivíduo adulto sem sintomas de herbivoria foram utilizadas para obtenção da área foliar (AF; mm^2), calculada a partir do programa ImageJ 1.31v (RASBAND, 1997). Em seguida, três novas folhas com as mesmas características foram utilizadas para determinação da massa fresca (MF; g) e massa seca (MS; g) após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 96 h a fim de estabilizar o peso seco. Os seguintes atributos foliares foram avaliados: comprimento do pecíolo (CP; cm); comprimento do entrenó

(CEN; cm); comprimento específico do pecíolo (CEP; cm g⁻¹); comprimento específico do entrenó (CEE; cm g⁻¹); e massa foliar por área (MFA - mg cm²) (CORNELISSEN et al., 2003; DE OLIVEIRA et al., 2019).

A análise das estratégias ecológicas (CSR) (GRIME, 1977; PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016), foi realizada a partir das medidas das seguintes características funcionais foliares: Área foliar (AF, mm²), peso seco da folha (PS, mg) e peso fresco da folha (PF, mg). Os dados foram lançados em planilha específica e calculado a porcentagem de cada estratégia utilizada para cada espécie (PIERCE et al., 2017): *Chamaecrista mucronata* e *Mimosa pogocephala* em solo de quartzítico e ferruginoso nos períodos de estiagem e chuvoso. O cálculo de CSR considere apenas três características foliar, no entanto, representa uma série de estratégias ecológicas (PIERCE et al., 2017).

3.4.5 Análise Estatística

As pressuposições foram submetidas à checagem da normalidade dos resíduos e homogeneidade da variância (Shapiro-teste de Wilk e teste de Kolmogorov-Smirnov, respectivamente). Os dados foram executados a partir análise de variância (ANOVA) no software RBio (BHERING, 2021). As médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5 % de significância com desdobramento dos GL's da interação.

4. RESULTADOS

4.1 Estratégias Fotossintéticas

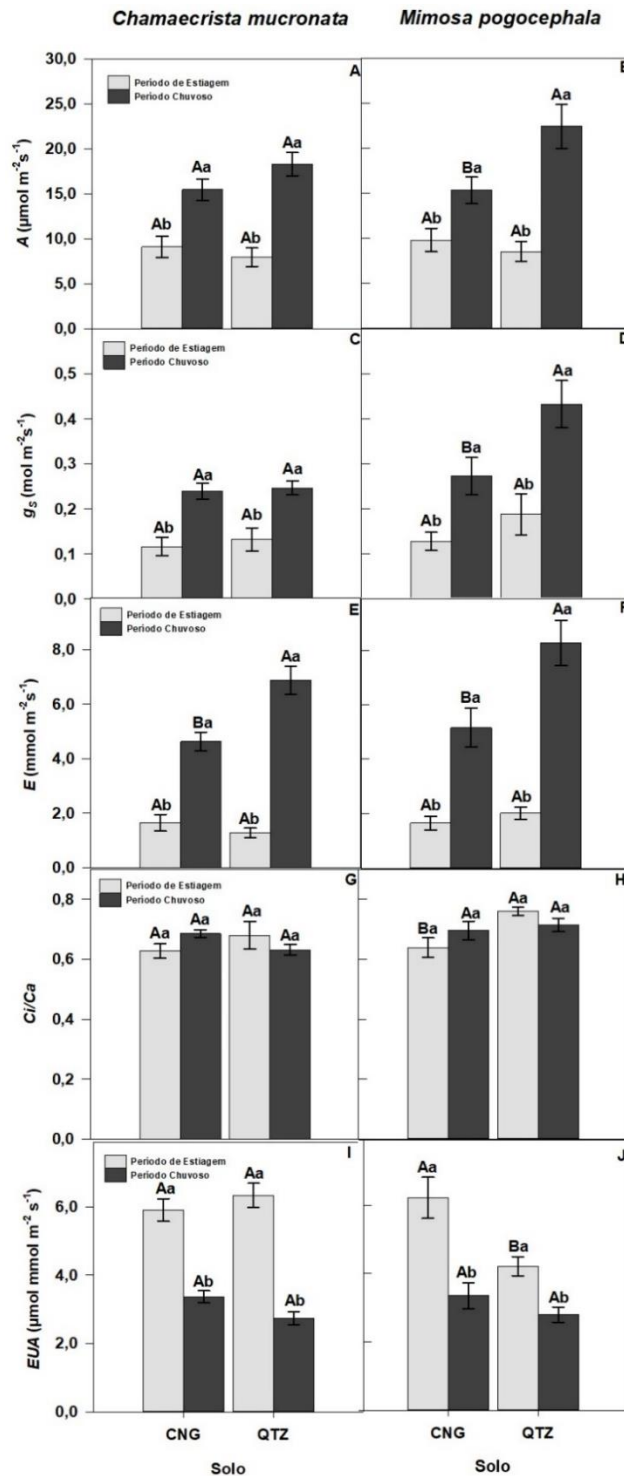
Chamaecrista mucronata apresentou diferenças significativas entre os períodos amostrados para A , g_s e E (Fig. 4) com maiores valores no período chuvoso em solo de canga bem como em quartzítico. Em contrapartida, apresentou maior eficiência no uso de água no período de estiagem. *Chamaecrista mucronata* apresentou efeito significativo de interação período e solo, na taxa de E , com maiores valores em solo de quartzítico e no período chuvoso em relação às plantas em solo de canga e período chuvoso. Verificou-se que *C. mucronata* apresentou diferença significativa em relação ao tipo de solo quando analisado a E , com maior taxa de transpiração em solo de quartzítico. *Chamaecrista mucronata* não apresentou diferença significativa em função de C_i/C_a (Fig. 4G) ao se analisar o período.

Mimosa pogocephala apresentou efeito significativo de interação em A , g_s e E . Observou-se que os maiores valores dessas variáveis ocorreram em solo de quartzítico e período chuvoso (Fig. 4B). Enquanto que a maior média da razão C_i/C_a foi observada em *M. pogocephala* em quartzítico, no entanto, no período de estiagem. A maior eficiência no uso de água foi verificada em *M. pogocephala* no solo de canga e no período de estiagem.

Analisando o tipo de solo, foi observado que *M. pogocephala* apresentou diferenças significativas com maior taxa de A , g_s , E e razão C_i/C_a em quartzítico enquanto que a EUA , foi maior no solo de canga.

Ao se analisar o período, verificou-se que a espécie *M. pogocephala* apresentou maiores valores de A , g_s e E no período chuvoso. Não ocorreram diferenças significativas quanto ao período para C_i/C_a quanto ao período (Fig. 4H). *M. pogocephala* apresentou diferença significativa com maior EUA no período de estiagem (Fig. 4J).

Figura 4: Fotossíntese (A ; A), condutância estomática (g_s ; B), transpiração (E , C), razão entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a ; G e H), e eficiência no uso da água (EUA; I e J) em *C. mucronata* (A, C, E, G, I) e *M. pogocephala* (B, D, F, H, J).

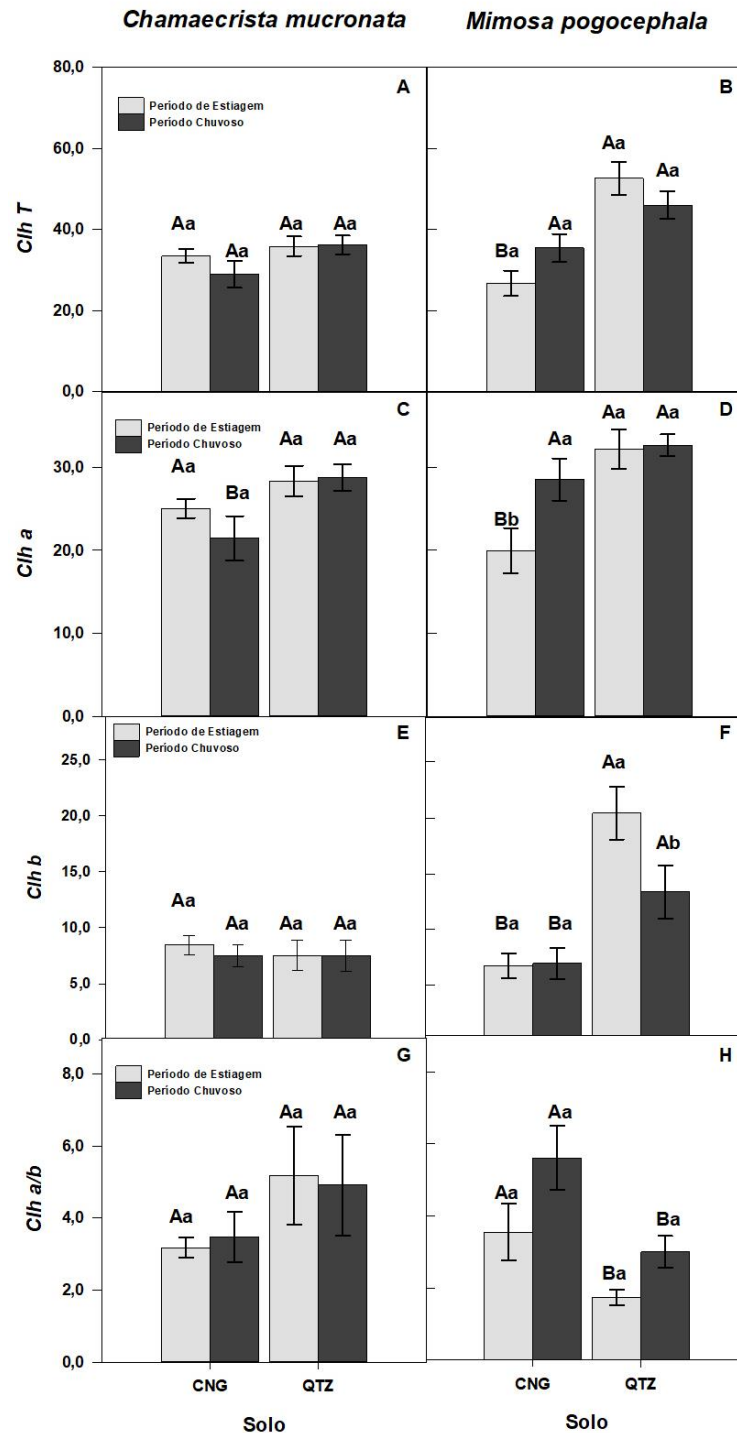


Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan ($P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão ($n=10$). Fonte: Autores, 2022.

Chamaecrista mucronata apresentou efeito significativo quando avaliada a interação entre o tipo de solo e a sazonalidade no índice de clorofila *a* (*Clh. a*) com maior média no substrato de quartzítico e período de estiagem. Quanto ao fator solo, *C. mucronata* apresentou diferença significativa em função da clorofila *a* (*Clh. a*). Foi observado maior índice nos indivíduos presentes no solo de quartzítico (Fig. 5C).

Mimosa pogocephala, apresentou efeito significativo de interação entre o tipo de solo e a sazonalidade quando observado as variáveis *Clh T* (Fig. 5B), *Clh. a* (Fig. 5D) e *Clh. b*. (Fig. 5F). Observou-se que o índice de *Clh. a* foi maior nos indivíduos presentes no solo de quartzítico e período chuvoso. Enquanto que o índice de *Clh. b* foi melhor evidenciado nas plantas encontradas em solo de quartzítico e período de estiagem. Enquanto que o índice de *Clh. a/b* (Fig. 5H) foi maior nas plantas presentes em solo de canga. Entretanto ao se analisar o período, *M. pogocephala* apresentou maior índice de *Clh. a* no período chuvoso enquanto que o maior índice de *Clh. b*, ocorreu no período de estiagem.

Figura 5: Clorofila total (A e B), clorofila a (C e D), clorofila b (E e F) e clorofila a/b (G e H) em *C. mucronata* (A, C, E, G) e *M. pogocephala* (B, D, F, H) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.



Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão ($n=10$). Fonte: Autores, 2022.

Chamaecrista mucronata apresentou efeito significativo de interação entre o tipo de solo e a sazonalidade, quando avaliado a eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), fluorescência inicial (F_0) e dissipação de energia não fotoquímica máxima (NPQ_{Max}). *C. mucronata* apresentou maior F_v/F_m no substrato de canga e período de estiagem (Fig. 6A). O maior valor de (F_0) foi observado nos indivíduos presentes no solo de quartzítico e período chuvoso (Fig. 6C) bem como os maiores valores de NPQ_{Max} (Fig. 6E).

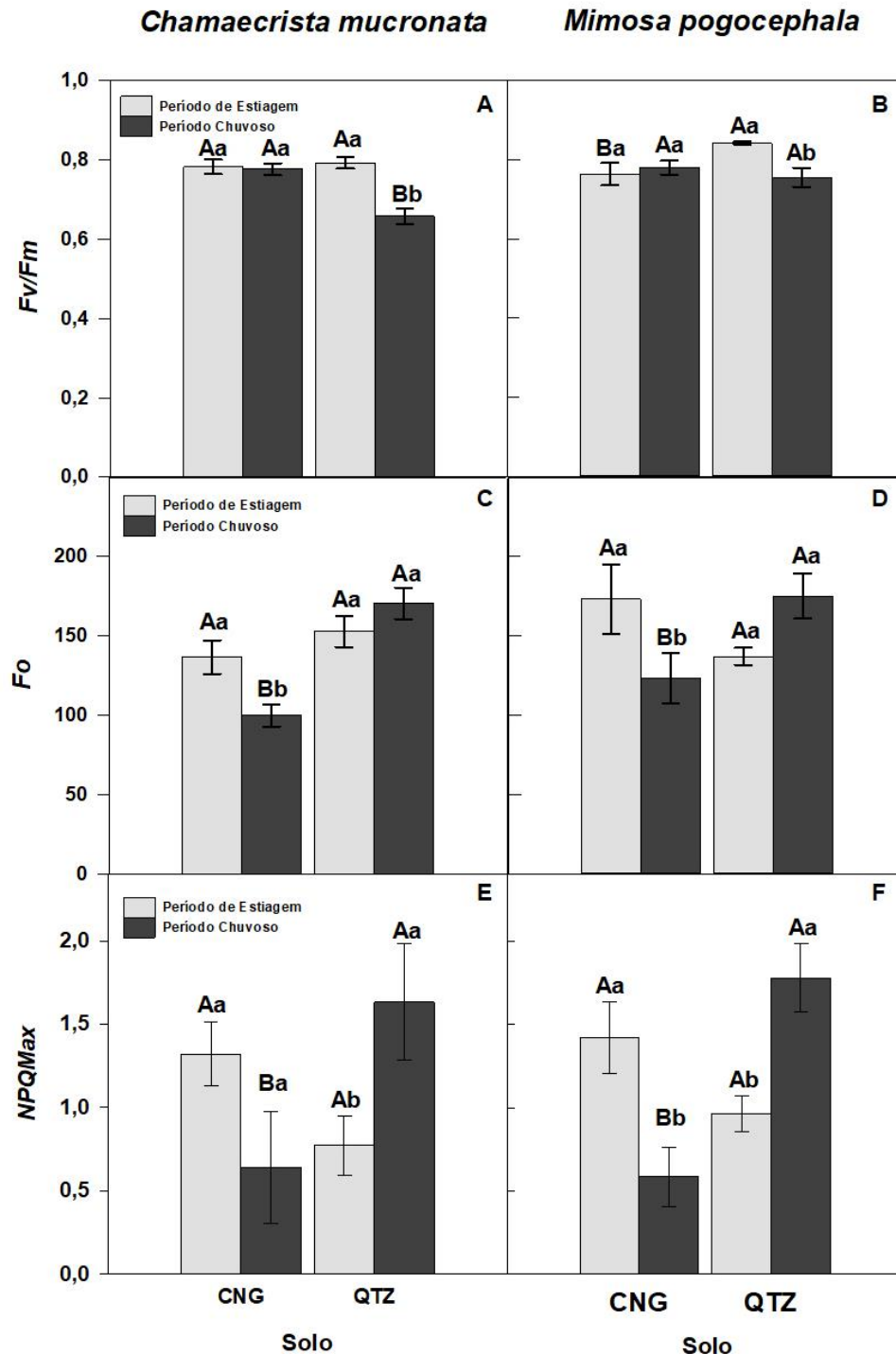
Em vista do fator solo, foi observado que *C. mucronata* apresentou diferença significativa em função da F_v/F_m , com maior média apresentada pelos indivíduos presentes no solo de canga (Fig. 6E). *C. mucronata* apresentou maior F_0 em quartzítico.

Observou-se que em função do período, *Chamaecrista mucronata* apresentou maior F_v/F_m no período de estiagem (quartzítico), enquanto que a F_0 com maior média foi observada no período de estiagem (canga) e chuvoso (quartzítico). Também foi observado maior média de NPQ_{Max} nos indivíduos presentes no solo de canga quando em função do período de estiagem e em quartzítico quando avaliado o período chuvoso.

Mimosa pogocephala apresentou efeito significativo de interação quando avaliado ambas as variáveis, sendo elas: F_v/F_m , F_0 e NPQ_{Max} . Em função do fator solo, *M. pogocephala* apresentou maior F_v/F_m (Fig. 6B), F_0 (Fig. 6D) e NPQ_{Max} (Fig. 6F) em solo de quartzítico.

Quando avaliado o fator período, *M. pogocephala* apresentou maior F_v/F_m no período de estiagem em quartzítico, maior F_0 no período de estiagem em canga e maior NPQ_{Max} no período de estiagem em canga e no período chuvoso em quartzítico.

Figura 6: Eficiência quântica máxima do FSII (A e B), fluorescência inicial (C e D), e rendimento quântico máximo de dissipação regulada de energia não fotoquímica do FSII (E e F) em *C. mucronata* (A, C, E) e *M. pogocephala* (B, D, F) em Campo Rupestre de canga e quartzítico.



Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão (n=10). Fonte: Autores, 2022.

Em relação ao rendimento quântico efetivo do fotossistema II (ϕ_{FSII}), foi observado que *Chamaecrista mucronata* apresentou queda acentuada em função da interação proveniente do solo de quartzítico e o período de estiagem. *C. mucronata* também apresentou melhor ϕ_{FSII} no solo de quartzítico em período chuvoso (Fig. 7A), bem como *Mimosa pogocephala* (Fig. 7B).

Ao se observar a taxa de transporte de elétrons (ETR), foi verificado que *Chamaecrista mucronata* apresentou maior taxa em solo de quartzítico e período de chuvoso e menor taxa em quartzítico no período de estiagem (Fig. 7C). *M. pogocephala* apresentou menor ETR em quartzítico no período de estiagem e maior ETR no período chuvoso em ambos os solos (Fig. 7D). As equações das regressões são apresentadas na Tab. A1 (Apêndice A).

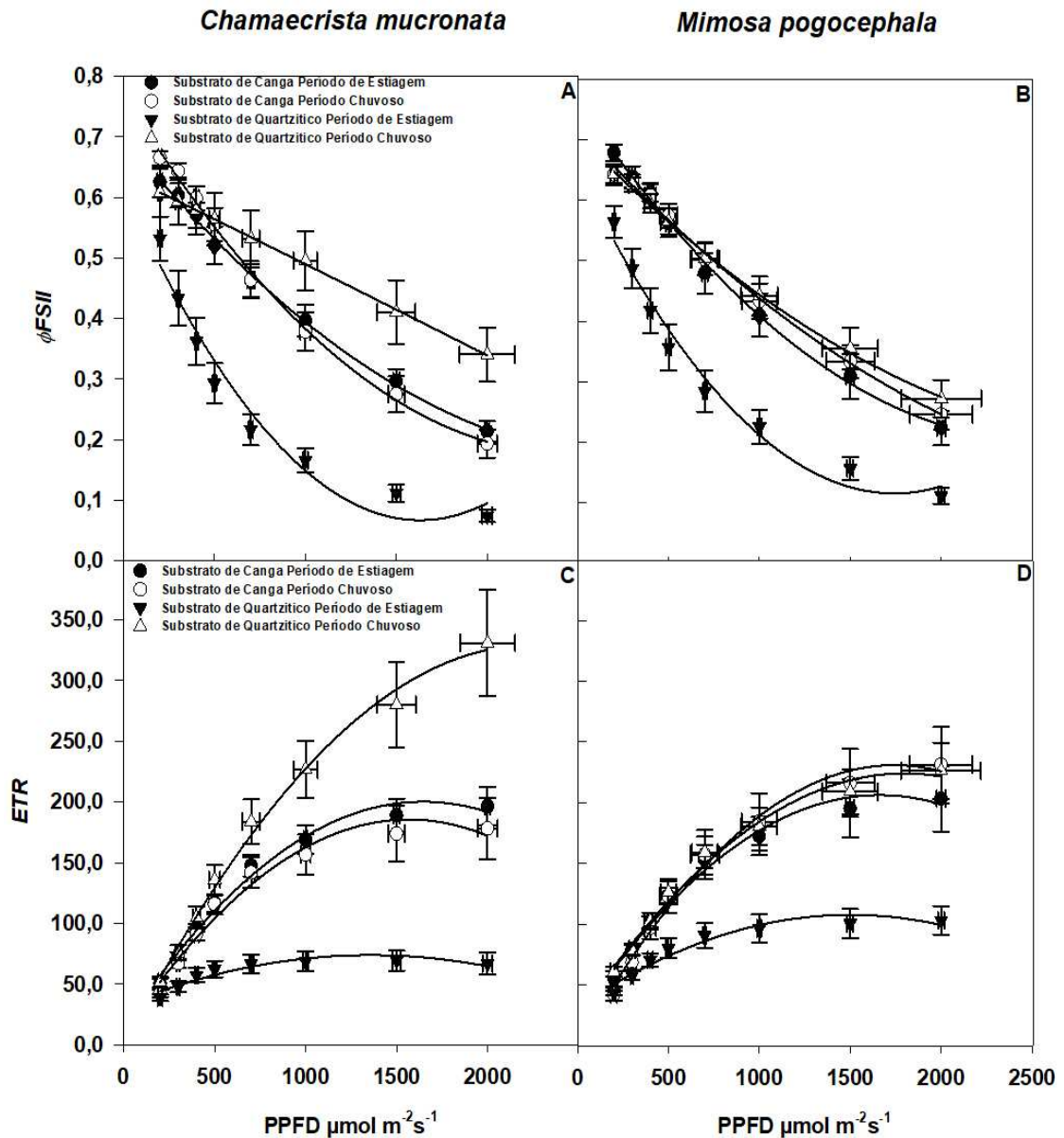


Figura 7: Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (ϕ_{FSII} ; A e B) e taxa de transporte de elétrons (C e D) em *C. mucronata* (A, C) e *M. pogocephala* (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.

Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão (n=10). Fonte: Autores, 2022.

4.2 Estratégias Hídricas

Ao se analisar a umidade do solo (*US*) do entorno de ambas as espécies, foi observado que ocorreu interação significativa nos fatores solo e período para a espécie *Chamaecrista mucronata*. Em função do tipo de solo, observou-se maior *US* em quartzítico (Fig. 8A). Como esperado, foi verificado em ambas as espécies maior *US* no período chuvoso.

Chamaecrista mucronata também apresentou maior teor relativo de água (*TRA*) no período de estiagem em ambos os solos de canga e quartzítico (Fig. 8C), bem como em *M. pogocephala* (Fig. 8D).

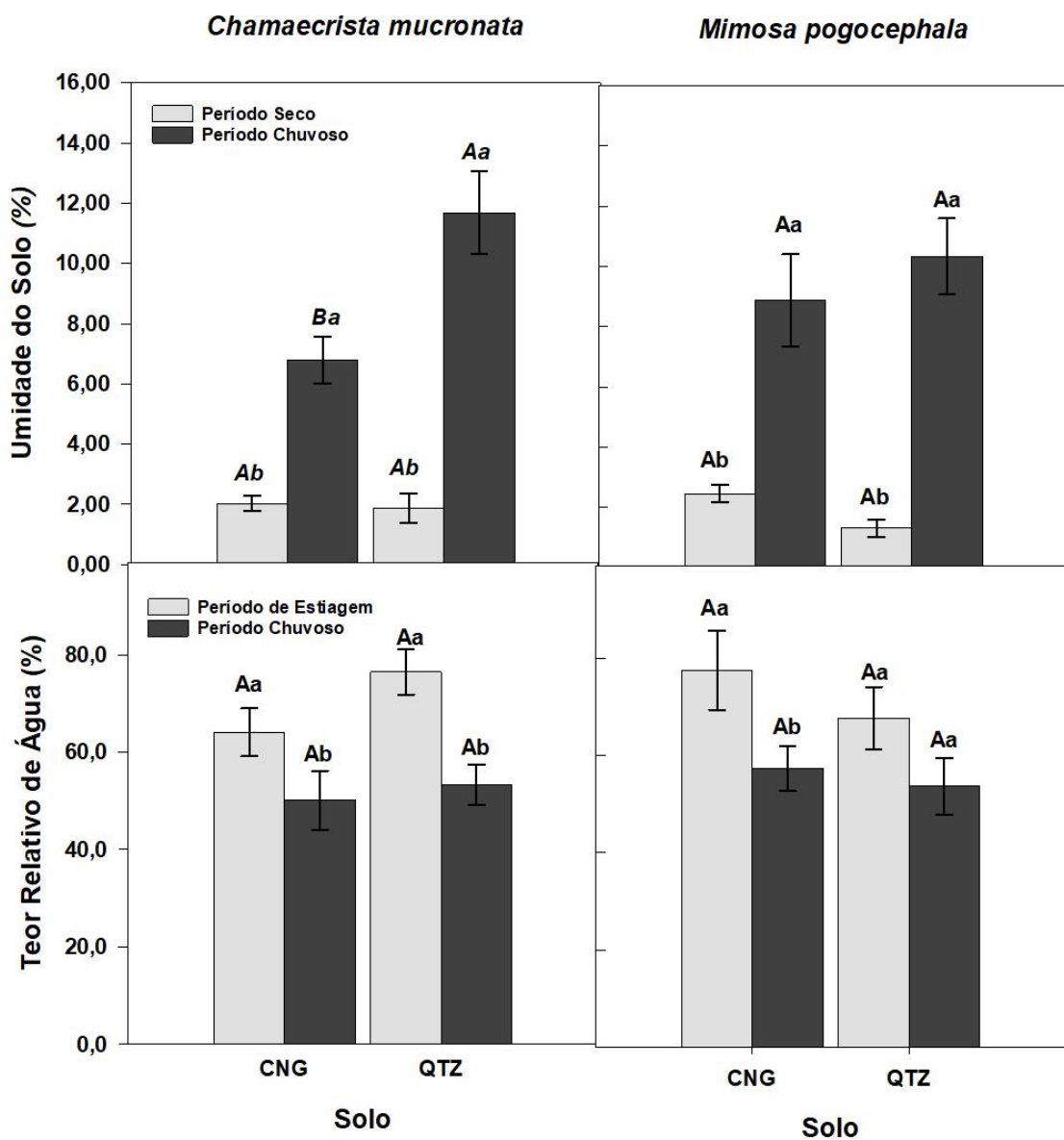


Figura 8: Umidade do solo (US, %) (A e B) e teor relativo de água (TRA, %) (C e D) em *C. mucronata* (A, C) e *M. pogocephala* (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.

Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão ($n=10$). Fonte: Autores, 2022.

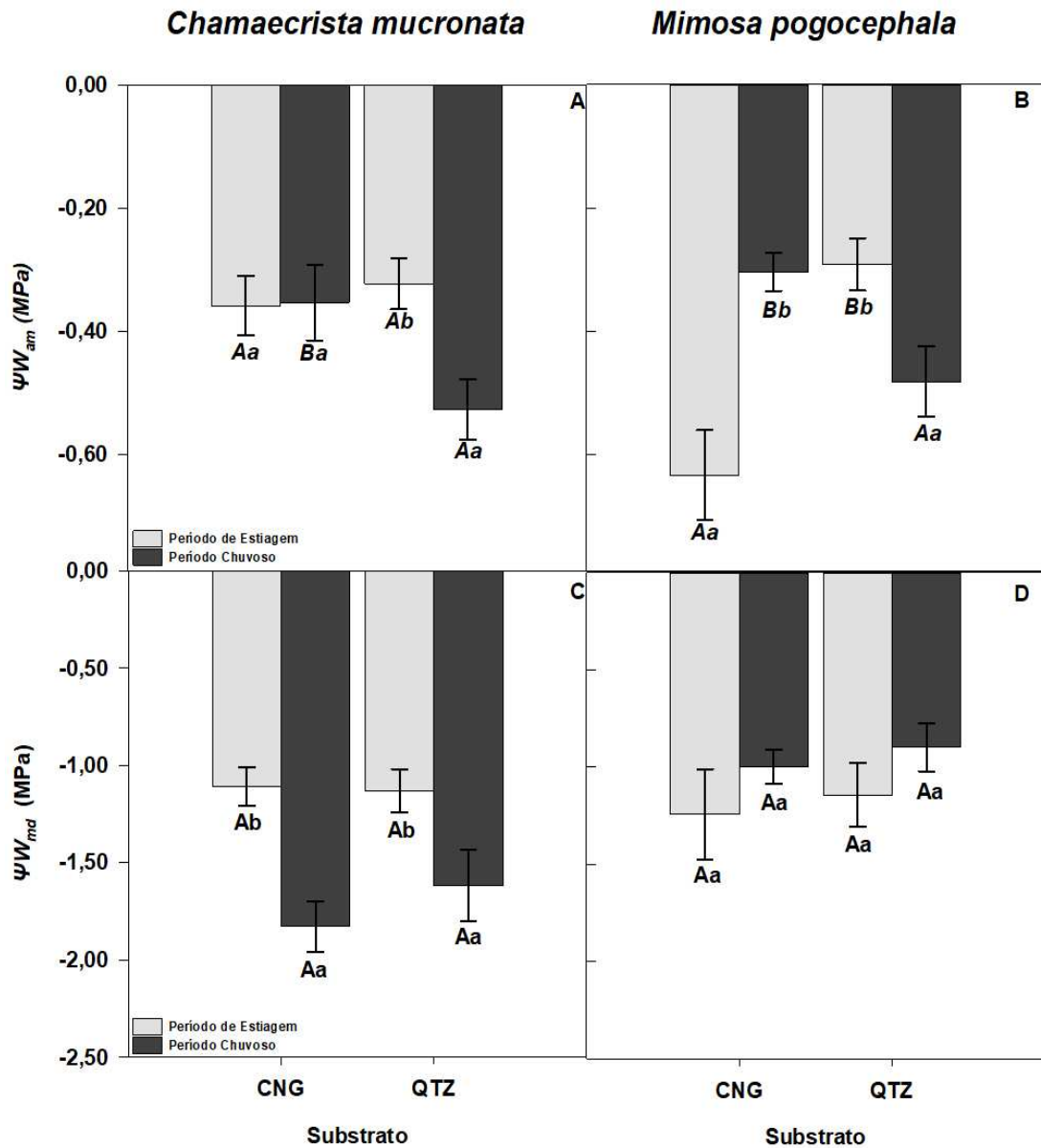
Quando avaliado o potencial hídrico ante manhã ΨW_{am} (MPa), *Chamaecrista mucronata* apresentou efeito significativo de interação entre o tipo de solo e a sazonalidade. De forma que o ΨW_{am} (MPa) maior em solo quartzítico e período chuvoso.

Ao se analisar o tipo de solo, *C. mucronata* apresentou ΨW_{am} (MPa) mais negativo em quartzítico (Fig. 9A) e, em função do período, foi observado ΨW_{am} (MPa) mais negativo nos indivíduos quando no período chuvoso. *C. mucronata* apresentou diferenças significativas apenas em função do período quando observado o ΨW_{md} (MPa), de forma que no período chuvoso, o ΨW_{md} (MPa) foi mais negativo (Fig. 9C).

Mimosa pogocephala apresentou efeito significativo de interação quando avaliado o potencial hídrico ante manhã ΨW_{am} (MPa) (Fig. 9B) com interação entre o solo de canga e período de estiagem e no solo de quartzítico período chuvoso.

Quanto ao tipo de solo, percebeu-se que *M. pogocephala*, apresentou diferenças significativas quanto a canga (estiagem) e quartzítico (chuvoso). E, em função do período, *M. pogocephala* apresentou efeito significativo de interação quando avaliado o potencial hídrico ΨW_{am} (MPa) mais negativo no período de estiagem (canga) e no período chuvoso quando a espécie se encontrava no solo de quartzítico.

Figura 9: Potencial hídrico ao amanhecer (ΨW_{am} , MPa) (A e B) e potencial hídrico ao meio dia (ΨW_{md} , MPa) (C e D) em *C. mucronata* (A, C) e *M. pogocephala* (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.

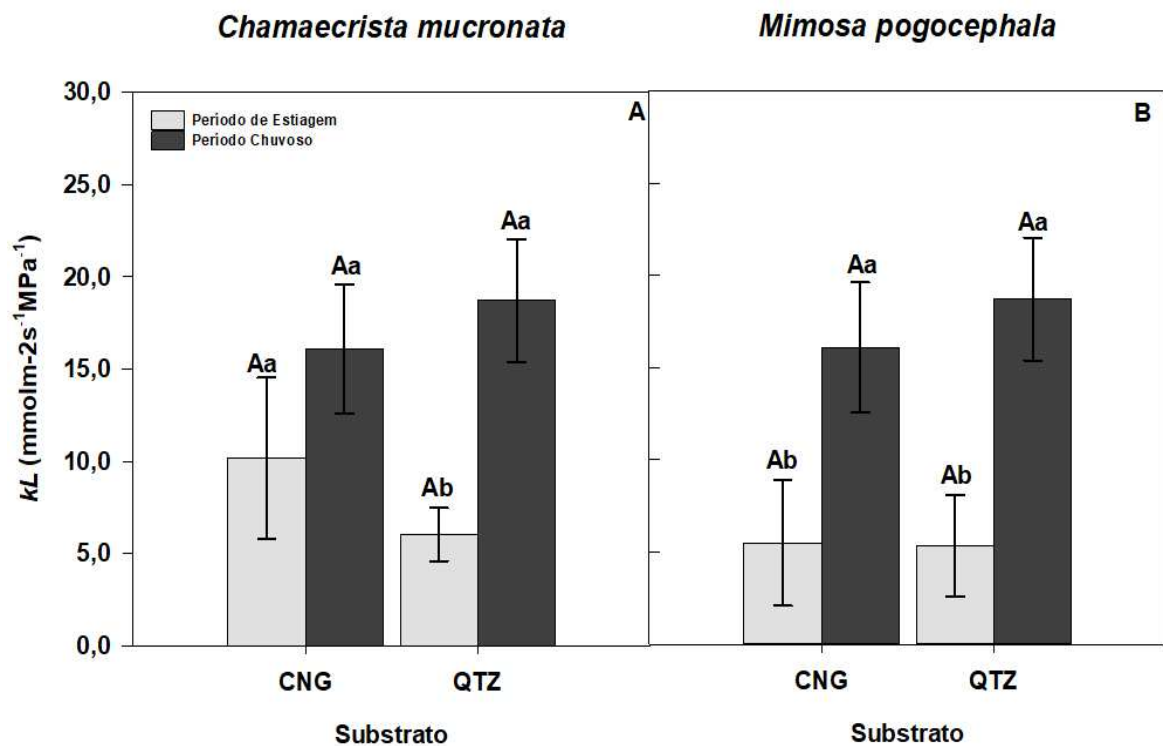


Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan ($P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão ($n=10$). Fonte: Autores, 2022.

Ao se analisar a condutividade hidráulica foliar ($KL \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Mpa}^{-1}$), observou-se que *Chamaecrista mucronata* apresentou diferenças significativas no período chuvoso quando

esta espécie se encontrava no solo de quartzítico (Fig. 10A). Enquanto que *Mimosa pogocephala* apresentou diferenças significativas no período chuvoso em ambos os solos (Fig. 10B).

Figura 10: Condutividade hidráulica de ramos ($KL \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Mpa}^{-1}$, A e B) em *C. mucronata* (A) e *M. pogocephala* (B) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.



Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan ($P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão ($n=10$). Fonte: Autores, 2022.

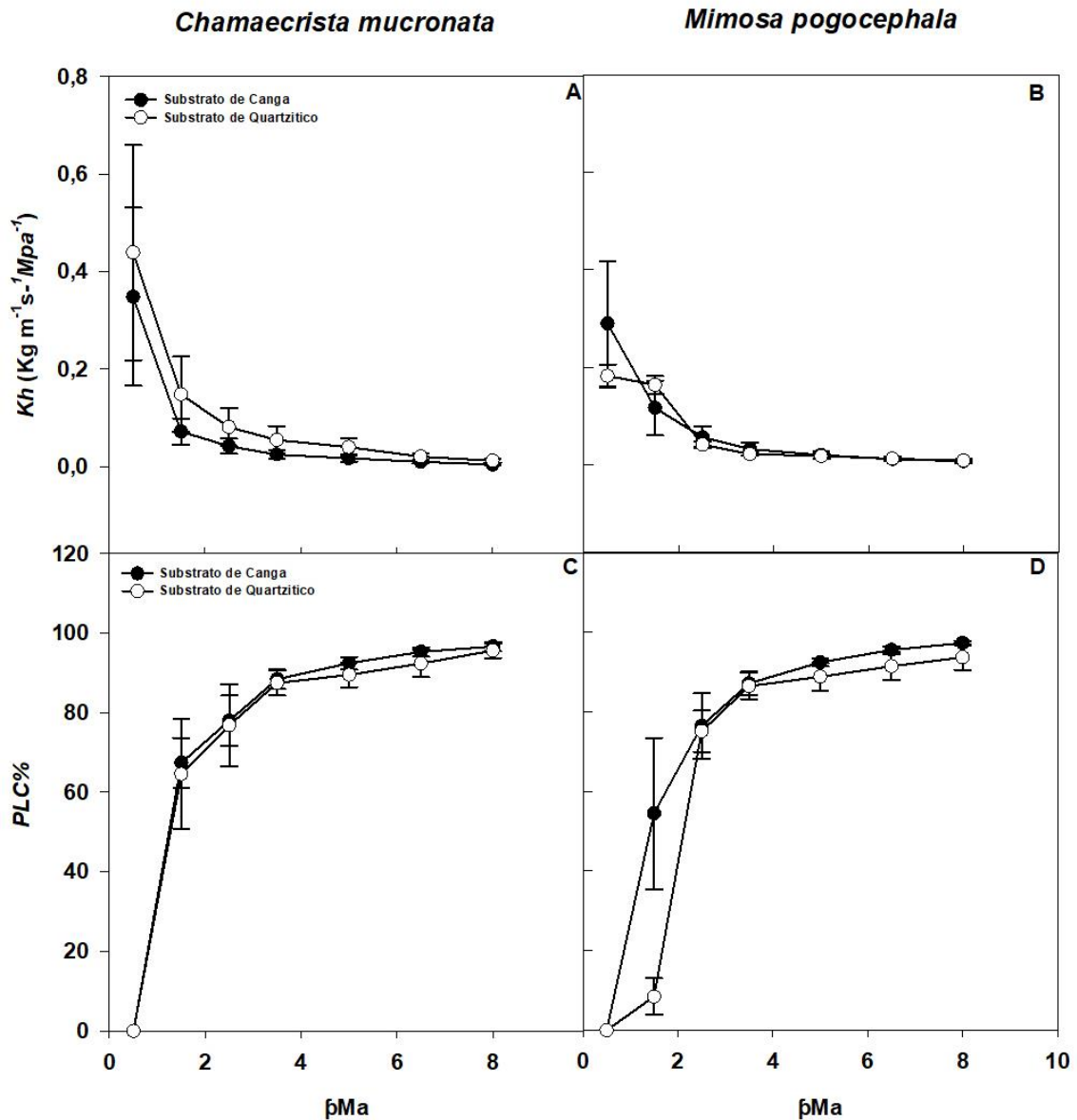
O aumento da vulnerabilidade à cavitação por meio da perda na condutividade hidráulica (Kh) dos ramos, foi observado em ambas as espécies e em ambos os períodos avaliados, à medida que ocorria o aumento de pressão no xilema. A partir do início do aumento da pressão (1,5 MPa) houve aumento da Kh de *Chamaecrista mucronata* em ambos os solos.

Quanto à curva de PLC, foi observado o início do aumento em torno de 67 % a 1,5 Mpa de pressão em canga e aproximação de 90 % com aumento de pressão em 5,0 Mpa em *C.*

mucronata. Em quartzítico, a PLC de *C. mucronata* iniciou-se em torno de 54 % (Fig. 11C). A pressão máxima inserida foi de 8,0 MPa e a PLC de *C. mucronata* chegou a 97 %,

A curva de PLC em *M. pogocephala* iniciou-se em torno de 64 % em solo de canga. Em quartzítico, a PLC de *M. pogocephala* iniciou-se em torno de 8% (Fig. 11D). Da mesma forma, a pressão máxima inserida foi de 8,0 MPa e a PLC que *M. pogocephala* apresentou foi de 96%.

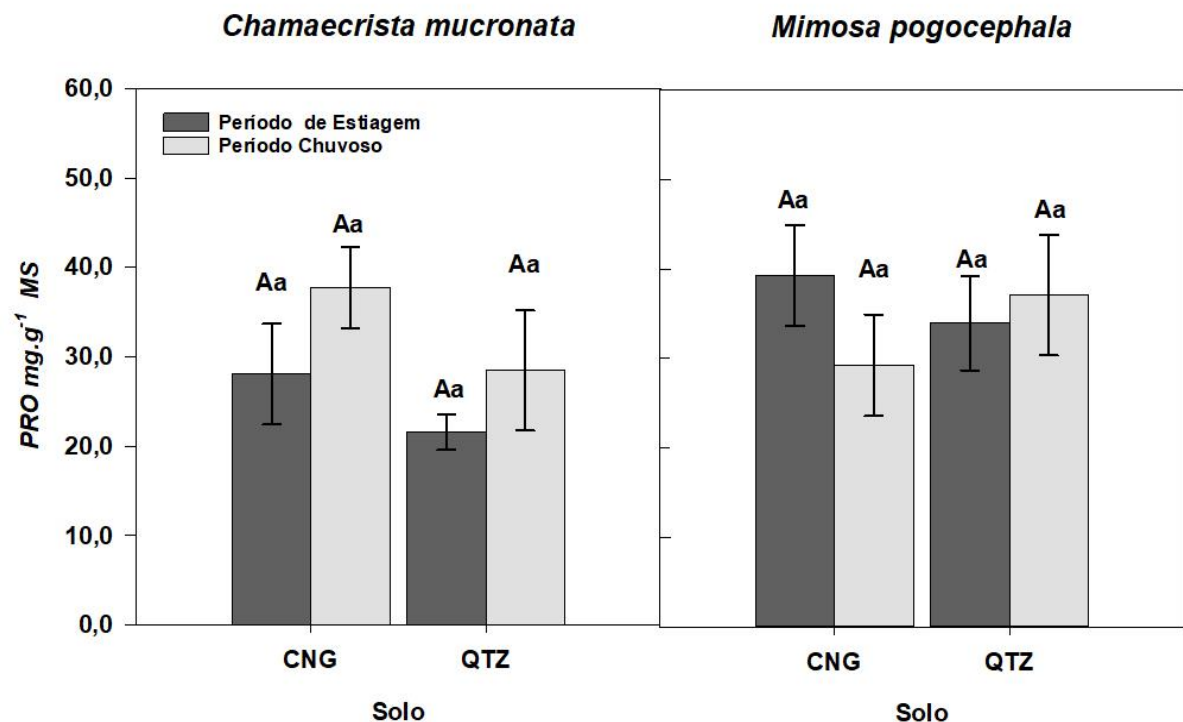
Figura 11: Curva de vulnerabilidade à cavitação (K_h $\text{Kg m}^{-1}\text{s}^{-1} \text{Mpa}^{-1}$ A e B) e curva de perda de pressão (PLC% C e D). *C. mucronata* (A, C) e *M. pogocephala* (B, D) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.



Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão ($n=10$). Fonte: Autores, 2022.

Quanto à análise de prolina, *Chamaecrista mucronata* apresentou diferença significativa em função do período chuvoso com aumento no teor de prolina nos indivíduos (Fig. 12A). *Mimosa pogocephala*, no entanto, apresentou diferença significativa quanto ao tipo de solo. As plantas presentes no solo de canga apresentaram maior teor de prolina (Fig. 12B).

Figura 12: Teor de prolina em *C. mucronata* (A) e *M. pogocephala* (B) em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.



Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$). As barras representam a média \pm erro padrão ($n=10$). Fonte: Autores, 2022.

4.3 Estratégias Nutricionais

O solo rizosférico das plantas presentes no solo de canga, apresentou maior teor disponível de P do que aquelas presentes no solo de quartzítico no período chuvoso em ambas

as espécies (Tab. 2). Em relação ao pH, foi observado que apenas o solo de canga no entorno de *M. pogocephala* apresentou maior elevação e diferenças significativas quando avaliado o período de estiagem. Os solos em canga apresentaram teor de MO aproximadamente duas vezes superior ao encontrado em quartzítico. Não foram verificadas diferenças significativas em função do período para MO, Zn, Mn e Fe em ambas as espécies. O solo associado a *M. pogocephala* apresentou maior teor de MO no período chuvoso que o período de estiagem.

Tabela 2: Características químicas do solo rizosférico (0-5 cm de profundidade) em *C. mucronata* e *M. pogocephala* em Campo Rupestre ferruginoso (CNG) e quartzítico (QTZ), nos períodos de estiagem e chuvoso.

Variáveis	<i>Chamaecrista mucronata</i>				<i>Mimosa pogocephala</i>			
	CNG		QTZ		CNG		QTZ	
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
P	3,36 ± 0,28Aa	3,65 ± 0,35Aa	3,14 ± 0,19Aa	2,52 ± 0,14Ba	4,20 ± 0,23Aa	3,95 ± 0,24Aa	3,41 ± 0,47Aa	2,40 ± 0,17Bb
Fe	224,90 ± 14,12Aa	211,10 ± 14,96Aa	158,23 ± 14,94Ba	136,06 ± 11,01Ba	234,77 ± 23,21Aa	271,45 ± 14,34Aa	181,19 ± 18,66Aa	182,30 ± 17,52Ba
Mn	87,48 ± 12,08Aa	104,97 ± 14,87Aa	31,21 ± 5,05Ba	27,23 ± 3,77Ba	104,20 ± 17,69Aa	90,75 ± 11,58Aa	25,42 ± 4,82Ba	26,26 ± 4,57Ba
Zn	6,22 ± 0,81Aa	6,88 ± 1,07Aa	1,62 ± 0,26Ba	1,32 ± 0,20Ba	7,74 ± 0,89Aa	7,92 ± 0,83Aa	1,49 ± 0,22Aa	1,38 ± 0,22Ba
pH	4,65 ± 0,05Aa	4,66 ± 0,06Aa	4,63 ± 0,06Aa	4,68 ± 0,03Aa	4,64 ± 0,07Aa	4,45 ± 0,02Ab	4,75 ± 0,07Aa	4,65 ± 0,05Aa
MO	8,66 ± 0,48Aa	8,42 ± 0,64Aa	3,89 ± 0,43Ba	3,10 ± 0,27Ba	8,48 ± 0,35Ab	9,83 ± 0,60Aa	2,94 ± 0,14Ba	3,09 ± 0,15Ba

Fonte: Autores, 2022.

Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$). Variáveis: Potencial hidrogeniônico da água (pH em água relação 1:2.5), fósforo (P – extrator Mehlich-1 mg/dm³), matéria orgânica (MO) Colorimetria dag/Kg, Ferro), ferro (Fe – extrator Mehlich -1 mg/dm³), manganês (Mn – extrator Mehlich-1 mg/dm³), Zinco (Zn – extrator Mehlich-1 mg/dm³). Fonte: Autores, 2022.

A análise de nutrientes foliares mostrou maior concentração de P nos indivíduos de *C. mucronata* e *M. pogocephala* quando presentes no solo de canga, (Tab. 03). *M. pogocephala* apresentou maior teor de P em canga no período chuvoso. Os teores foliares de N e Mn foram maiores nas espécies presentes em canga, sendo *C. mucronata* sob influência do período chuvoso e em *M. pogocephala* sob influência do período de estiagem. Não foram observadas diferenças significativas quanto as concentrações foliares de Zn e Fe em *C. mucronata*.

M. pogocephala no solo canga apresentou maiores teores foliares de N e Zn, independente do período. A concentração de Mn foi maior nas plantas de *M. pogocephala* no solo de canga, independente do período. O teor de Fe em folhas de *M. pogocephala* no período de estiagem foi maior que no período chuvoso, em ambos os solos.

Tabela 3: Características da nutrição foliar em *C. mucronata* e *M. pogocephala* em Campo Rupestre ferruginoso (CNG) e quartzítico (QTZ), nos períodos de estiagem e chuvoso.

<i>Variáveis</i>	<i>Chamaecrista mucronata</i>				<i>Mimosa pogocephala</i>			
	CNG		QTZ		CNG		QTZ	
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
<i>N</i>	16,70 ± 0,27Ab	17,78 ± 0,34Aa	16,03 ± 0,54Ab	17,47 ± 0,29Aa	20,20 ± 0,79Aa	20,76 ± 0,75Aa	17,19 ± 0,56Ba	17,82 ± 0,65Ba
<i>P</i>	0,62 ± 0,03Aa	0,60 ± 0,02Aa	0,53 ± 0,04Ba	0,44 ± 0,02Bb	0,62 ± 0,04Ab	0,83 ± 0,04Aa	0,45 ± 0,03Ba	0,49 ± 0,04Ba
<i>Zn</i>	22,73 ± 0,96Aa	21,66 ± 0,95Aa	21,85 ± 1,19Aa	21,76 ± 1,56Aa	18,36 ± 1,21Aa	19,19 ± 1,38Aa	15,72 ± 0,74Ba	14,73 ± 1,95Ba
<i>Mn</i>	121,41 ± 11,02Ab	176,52 ± 16,94Aa	91,93 ± 9,05Aa	111,13 ± 7,44Ba	349,31 ± 19,90Aa	364,39 ± 30,47Aa	246,20 ± 23,13Ba	257,17 ± 35,98Ba
<i>Fe</i>	1398,44 ± 204,70Aa	1094,53 ± 80,10Aa	1199,43 ± 136,39Aa	1078,58 ± 153,84Aa	826,83 ± 112,9Aa	326,02 ± 30,69Ab	906,59 ± 265,2Aa	264,44 ± 36,32Ab

Fonte: Autores, 2022.

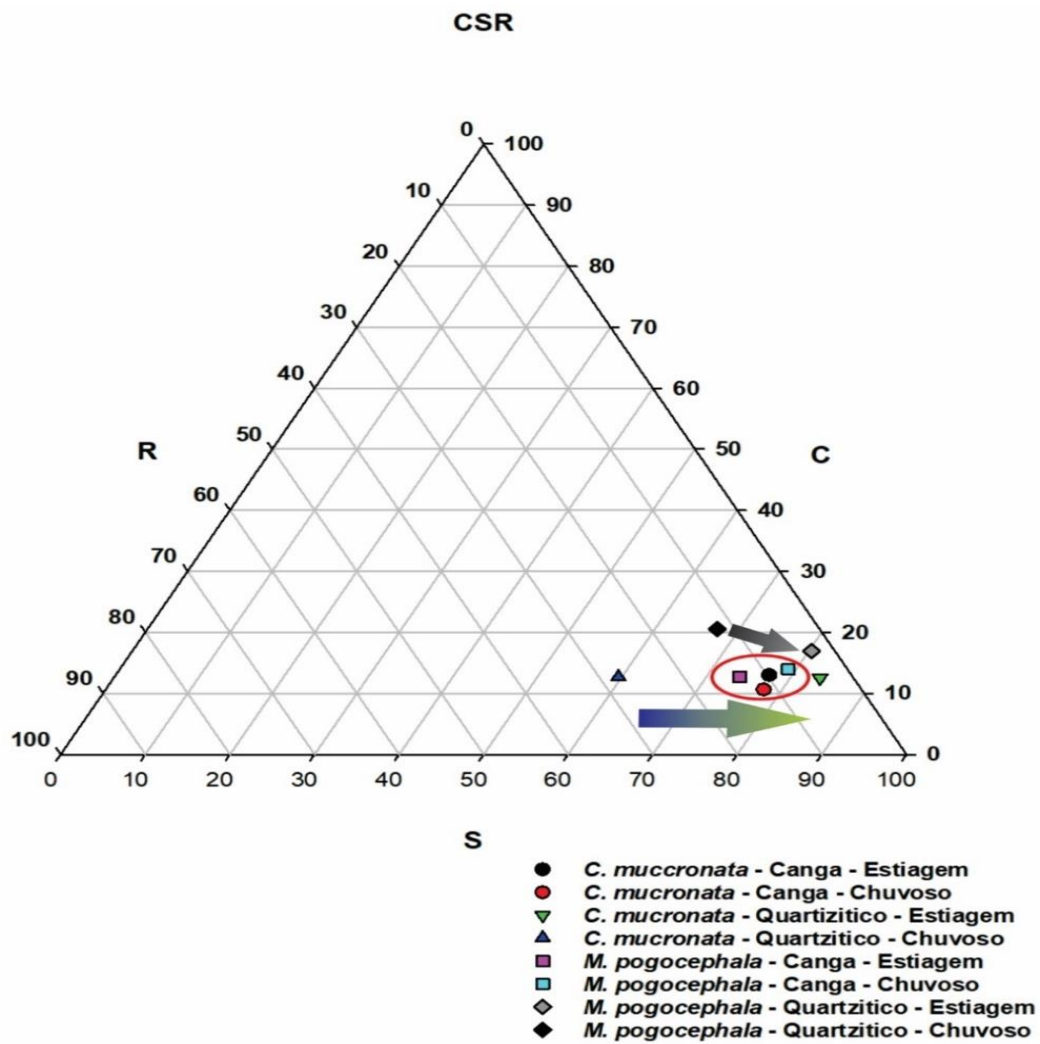
Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal, de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$. Variáveis: Nitrogênio (N Dig. Sulfúrica g/Kg, fósforo (P – Nitroper g/Kg), zinco (Zn – Nitroper mg/Kg), Manganês (Nitroper mg/Kg), ferro (Nitroper mg/Kg). Fonte: Autores, 2022.

4.4 Estratégias Ecológicas e Atributos Foliares

As espécies *C. mucronata* e *M. pogocephala* apresentaram estratégia ecológica predominantemente de tolerância ao estresse (Fig.13), variando a porcentagem de estratégias de ruderalidade (R), competição (C) e estresse-tolerância (S). *C. mucronata* em quartzítico apresentou maior investimento na estratégia S no período de estiagem reduzindo essa proporção no período chuvoso e promovendo incremento de R. *M. pogocephala* em quartzítico também apresentou a mesma estratégia no período de estiagem, porém em menor proporção quando comparado à *C. mucronata*. No solo de canga não ocorreram ajustes significativos nas estratégias ecológicas em função da sazonalidade para ambas as espécies (Fig. 13).

Chamaecrista mucronata obteve maior incremento em área folia (AF); massa seca foliar (MSF); comprimento do pecíolo (CP); comprimento do entrenó (CE); massa foliar por área (MFA), bem como maior densidade estomática (DE) na face adaxial no solo quartzítico no período chuvoso (Tabela 04). Os valores do comprimento específico do pecíolo (CEP) e do comprimento específico do entrenó (CEE) foram maiores em *C. mucronata* na canga e quartzítico no período de estiagem. O valor da densidade estomática face adaxial (DE_{ada}) desta espécie foi também maior no período de estiagem, porém apenas no solo quartzítico. *M. pogocephala* também apresentou maior AF e CE quando presente no solo quartzítico no período chuvoso. No entanto, os atributos foliares MSF; CP e MFA em *M. pogocephala* foram significativamente superior no solo de quartzítico, sendo as maiores diferenças encontradas no período de estiagem. *M. pogocephala* apresentou valores superiores de CEP e CEE quando presentes no solo canga no período chuvoso. *M. pogocephala* também apresentou maior contagem de densidade estomática no solo canga no período de estiagem para ambas as faces.

Figura 13: Estratégias Ecológicas CSR em *C. mucronata* e *M. pogocephala* em Campo Rupestre de canga e quartzítico, nos períodos de estiagem e chuvoso.



Dados: C = competição, S = estresse tolerante, R = ruderal. Dados em %. (n=10). Fonte: Autores, 2022.

Tabela 4: Atributos foliares em *C. mucronata* e *M. pogocephala* em Campo Rupestre ferruginoso (CNG) e quartzítico (QTZ), nos períodos de estiagem e chuvoso.

Atributos	<i>Chamaecrista mucronata</i>				<i>Mimosa pogocephala</i>			
	CNG		QTZ		CNG		QTZ	
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
<i>AF</i>	123,97 ± 8,48Aa	121,86 ± 7,73Ba	110,71 ± 11,17Ab	157,11 ± 14,86Aa	155,45 ± 17,70Ba	166,21 ± 12,41Ba	336,27 ± 31,93Aa	368,04 ± 26,96Aa
<i>MSF</i>	0,071 ± 0,006Aa	0,082 ± 0,007Ba	0,061 ± 0,007Ab	0,142 ± 0,016Aa	0,106 ± 0,018Ba	0,074 ± 0,010Ba	0,348 ± 0,067Aa	0,294 ± 0,044Aa
<i>CP</i>	2,96 ± 0,18Aa	2,34 ± 0,14Bb	2,60 ± 0,19Aa	3,05 ± 0,16Aa	6,11 ± 0,37Ba	5,91 ± 0,54Ba	12,37 ± 0,92Aa	11,40 ± 0,78Aa
<i>CE</i>	3,16 ± 0,28Aa	2,88 ± 0,20Ba	2,93 ± 0,23Ab	3,92 ± 0,23Aa	2,60 ± 0,33Aa	2,18 ± 0,41Ba	3,64 ± 0,36Aa	5,10 ± 0,90Aa
<i>CEP</i>	178,16 ± 11,91Aa	104,25 ± 6,42Ab	165,89 ± 11,21Aa	90,33 ± 8,61Ab	135,81 ± 19,65Aa	171,91 ± 9,41Aa	91,88 ± 10,96Ba	116,29 ± 15,0Ba
<i>CEE</i>	112,49 ± 11,94Aa	70,91 ± 5,52Ab	116,25 ± 11,83Aa	64,79 ± 6,48Ab	48,23 ± 8,44Aa	65,70 ± 5,60Aa	30,43 ± 4,88Aa	42,16 ± 7,60Ba
<i>MFA</i>	5,72 ± 0,33Ab	6,92 ± 0,33Ba	4,86 ± 0,40Ab	8,17 ± 0,32Aa	6,46 ± 0,46Ba	4,28 ± 0,44Ba	11,39 ± 1,44Aa	7,83 ± 1,09Ab
<i>DE_{Aba}</i>	309,03 ± 37,28Aa	289,24 ± 78,18Aa	272,64 ± 24,80Aa	256,07 ± 12,17Aa	203,52 ± 35,24Aa	190,40 ± 4,57Aa	190,27 ± 8,16Aa	200,28 ± 31,83Aa
<i>DE_{Ada}</i>	261,98 ± 25,93Aa	200,05 ± 5,03Bb	248,12 ± 19,93Aa	274,27 ± 16,48Aa	252,67 ± 40,25Aa	191,71 21,01Aa	191,88 ± 6,75Aa	186,41 ± 19,52Aa

Fonte: Autores, 2022.

Para cada espécie, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas com relação ao solo e letras minúsculas indicam diferenças quanto ao período sazonal de acordo com o teste de Duncan $P < 0,05$. Legenda: ATR (Atributos): AF (área foliar, mm^2); MSF (massa seca de folha, g); CP (comprimento do pecíolo, cm); CE (comprimento do entrenó, cm); CEP (comprimento específico do pecíolo, cm g^{-1}); CEE (comprimento específico do entre nó, cm g^{-1}); MFA (massa foliar por área de folha, mg cm^{-2}); DE_{ABA} (Densidade estomática face abaxial, $(n^\circ/20\mu\text{m})$); DE_{ADA} (Densidade estomática face adaxial, $(n^\circ/20\mu\text{m})$). Fonte: Autores, 2022.

5. DISCUSSÃO

As estratégias ecológicas e fisiológicas utilizadas pelas espécies *Chamaecrista mucronata* e *Mimosa pogocephala* variaram em função do tipo de solo que se encontram, bem como em função da disponibilidade hídrica dos períodos de estiagem e chuvoso. Ambas as espécies revelaram estratégia ecológica estresse tolerante em ambos os tipos de solo e período. Os solos de canga e quartzítico são considerados franco – arenosos com baixa disponibilidade de P e N. Entretanto, a disponibilidade desses elementos nas folhas das espécies não foi considerada limitante, como evidenciado pelas respostas nutricionais. *Chamaecrista mucronata* e, principalmente *Mimosa pogocephala* apresentaram ajustes fisiológicos e aspectos foliares que modificaram em função da disponibilidade hídrica. As respostas obtidas como a *EUA*, diminuição dos valores de *gs* e redução da perda de água no período de estiagem em ambos os solos por exemplo, indicam maior conservação de recursos. Bem como os dados do *TRA* no período de estiagem em *C. mucronata* e *M. pogocephala* que foram superiores ao período chuvoso. E a presença de tricomas foliares e a baixa MFA no período de estiagem também indicam aspecto de conservação de recursos.

As espécies *Chamaecrista mucronata* e *Mimosa pogocephala* apresentaram estratégias fotossintéticas, hídricas e nutricionais nos períodos chuvoso e de estiagem variáveis conforme o ambiente de canga e quartzítico onde estão inseridas. A sazonalidade climática apresentou menor influência sobre as respostas das espécies comparativamente ao tipo de solo. O solo quartzítico apresentou características mais limitantes para ambas as espécies, baseado principalmente nas características química do próprio solo e análise foliar das espécies. As espécies avaliadas apresentaram resultados que indicam estratégia de conservação de recursos (DÍAZ et al., 2004; WRIGHT et al., 2004), principalmente no solo quartzítico que é mais limitante nutricionalmente em comparação a canga, evidenciado pela maior MFA em *M. pogocephala* e *C. mucronata* (Tab. 04). Inúmeros traços morfológicos e aspectos fisiológicos das espécies de campo rupestre avaliados, indicam maior conservação de recursos, em detrimento ao custo-benefício energético em maior disponibilidade de recursos. Ambientes com limitações nutricionais, apresentam maior propensão a presença de indivíduos com estratégia ecológica de tolerância ao estresse (NEGREIROS et al., 2013).

Fatores nutricionais do solo em diferentes ecossistemas influenciam as estratégias ecológicas das espécies vegetais (FUJITA; VAN BODEGOM; WITTE, 2013). NEGREIROS et al., (2013) indicam que a disponibilidade hídrica possui influência direta nas espécies da flora

de Campos Rupestres. Mesmo *C. mucronata* e *M. pogocephala* apresentando estratégia ecológica estresse-tolerante, a avaliação de CSR entre os períodos ressaltou o quanto as espécies se distanciaram de suas principais estratégias ecológicas em função da sazonalidade hídrica. No período de estiagem, a maior proporção estresse-tolerante (S) dentre as estratégias CSR encontradas no ambiente quartzítico está relacionada às suas características nutricionais mais restritivas. Desta forma, há maior necessidade de ajustes ecofisiológicos das espécies frente a sazonalidade ambiental e a disponibilidade hídrica quando estabelecidas no quartzítico. A redução da estratégia R em ambas as espécies em quartzítico no período de estiagem, em função do aumento da estratégia S, indica a capacidade de ajuste ecológico. As espécies quando em solo de canga responderam com menor alteração em função da estratégia ecológica o que resulta em maior ajustamento quanto à característica do solo. Em contra partida no solo de quartzítico, ambas as espécies *C. mucronata* e *M. pogocephala* apresentam maiores variações em função da disponibilidade hídrica. Esse contraste de S:R pode indicar uma maior sensibilidade à perturbação ambiental e este *trade-off* na resposta não pode ser verificado apenas em função da nutrição do solo e sim em um contexto mais amplo (NEGREIROS et al., 2014). Estes ajustes, com investimento na estratégia S, estão vinculados a filtros como a disponibilidade sazonal e o baixo aspecto nutricional do solo, que tendem a restringir o crescimento das espécies. Segundo NEGREIROS et al. (2014), os ambientes de Campo Rupestre tendem a serem constituídos de plantas com folhas mais estreitas, maior tolerância ao estresse e menor competição.

Embora ambos os solos tenham sido classificados como franco-arenosos, seus atributos físicos foram contrastantes, como evidenciado pelo maior teor de areia grossa e menor teor de areia fina no quartzítico. Ambos os solos da área de estudo são pedregosos, em destaque o solo de canga. LE STRADIC (2012), indica que em solos pedregosos a quantidade de areia fina é de apenas 40%, ficando abaixo dessa porcentagem nos solos desse estudo podendo ser pouco erosivo e contribuem pouco para a disponibilidade hídrica no solo. Era esperado maior US em canga comparativamente ao solo de quartzítico devido ao seu maior teor de silte e argila, e maior teor de matéria orgânica. A concentração de argila com poros menores promove grande tensão de sucção, aumentando a retenção hídrica (DE OLIVEIRA et al., 2019), o que resultaria em maior disponibilidade hídrica para as espécies. No entanto, a pequena quantidade de água em solos argilosos, fica adsorvida nas partículas de argila o que torna sua disponibilidade menor para as plantas. As espécies *C. mucronata* e *M. pogocephala* demonstraram alta eficiência no processo de aquisição dos elementos nutricionais. O solo de canga possui teores mais elevados de elementos como Mn e Fe, assim como também encontrado por outros autores (JACOBI; DO

CARMO; VINCENT, 2008). O baixo pH associado aos dois tipos de solos, canga e quartzítico respectivamente, (4,75 – 4,85) aumenta a disponibilidade de Fe e Mn para as plantas. Em ambas as espécies o acúmulo de Fe em suas folhas foi superior às concentrações normalmente requeridas para leguminosa, entre 150-200 mg kg⁻¹ (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V, 1999), desta forma, ambas as espécies podem ser classificadas como acumuladoras. Plantas acumuladoras podem tolerar concentrações extremamente altas de metal na parte aérea (DE OLIVEIRA DE ARAÚJO et al., 2020). Neste estudo, a homeostase foi mantida sem efeito tóxico para as plantas. A ciclagem dos nutrientes varia conforme as características do solo e as condições (AERTS; DE CALUWE, 1997; MARTIUS et al., 2004). A limitação nutricional de P e estratégias de maximização da fotossíntese, está relacionada a maiores taxas de decomposição da serrapilheira e com isso disponibilidade nutricional às espécies (BAKKER; CARREÑO-ROCABADO; POORTER, 2011). A matéria orgânica do solo (MO) quando mineralizada promove maior disponibilidade de nutrientes como N, P e K e auxilia no processo de retenção hídrica no solo (SOUZA et al., 1999). O nível de MO em canga foi maior devido à serrapilheira oriunda da vegetação mais abundante, com lenta decomposição de resíduos vegetais (BUSTAMANTE et al., 2012; SILVEIRA et al., 2016) e acúmulo de substâncias húmicas (BENITES et al., 2007). No período chuvoso, a maior *t* em quartzítico ocorreu em função da matéria orgânica disponível da própria vegetação e maior lixiviação do que na canga. Os solos de Campo Rupestre apresentam alto teor de matéria orgânica fibrosa derivada de resíduos vegetais que não foram decompostos. Há alta presença de ácidos húmicos e fúlvico responsáveis por parte da capacidade de troca catiônica e retenção de água em solos, especialmente onde a presença de argilominerais é baixa ou ausente (BENITES et al., 2007) como observado em quartzítico. A disponibilidade de P foi considerada boa em ambos os solos (30,1 a 45,0 - Tab. 01) (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V, 1999). O resultado da saturação de bases (*V*) mostrou que ambos os solos são distróficos, e o solo de quartzítico apresentou saturação de alumínio (*m*) acima de 50 %. A distrofia nutricional dos solos nestes ambientes está vinculada a intensa lixiviação, sendo melhor evidenciado em quartzítico que passou por eventos estocásticos contínuos e possui menor teor de argila (BENITES et al., 2007). Essa condição nutricional é um dos principais fatores que determinam as estratégias de resistência de plantas em Campos Rupestres e promovem a alta eficiência no uso e remobilização dos nutrientes (PEREIRA, 2016). O estudo de NEGREIROS et al. (2009) relacionando o *trade-offs* entre alocação de biomassa e crescimento, avaliou espécies da família Fabaceae sobre alta e baixa demanda nutricional do solo e foi observada baixa taxa de

crescimento relativo de espécies dos gêneros *Chamaecrista* e *Mimosa* com o aumento de fertilidade. O P e N são os nutrientes mais limitantes para as plantas de Campos Rupestres (ABRAHÃO et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2015) e sua disponibilidade é reduzida com a redução do pH dos solos (AERTS; CHAPIN, 1999). *Chamaecrista mucronata* e *Mimosa pogocephala* apresentaram estratégia eficiente de aquisição de P, evidenciada pelo maior nível de P foliar (Tab. 03). Observações semelhantes foram verificadas por DE OLIVEIRA et al. (2019) em seu estudo em Campos Rupestres. A estratégia de aquisição de nutrientes nas leguminosas neste ambiente pode estar relacionada às bactérias fixadoras de N, que promovem o processo de solubilização de fosfato resultando no aumento de fósforo disponível para a absorção pelas plantas. Essa estratégia foi observada por SOUZA et al. (2020) em *Mimosa foliosa* e COTA (2016) em espécies do gênero *Chamaecrista*.

Em vista as respostas fotossintéticas foram observadas que a capacidade fotossintética das espécies depende da disponibilidade de nutrientes, e a deficiência em N reduz o teor de clorofila que pode reduzir a eficiência da fotossíntese. Ambas as espécies apresentaram predomínio de estratégias conservativas como observado pela diminuição dos valores de g_s e redução da perda de água no período de estiagem em ambos os solos (Fig. 04 C e D). Essa resposta conservativa foi observada também por KUSTER; DE CASTRO; VALE, (2016) em espécies de Myrtaceae de Campo Rupestre. O aumento da A no período chuvoso, juntamente com incremento da taxa de E , demonstra a retomada de estratégia aquisitiva de recursos nesse ambiente, principalmente para *M. pogocephala* no quartzítico. O decréscimo de CO_2 interno em *M. pogocephala* (Fig. 04H) e o aumento de déficit hídrico nas avaliações de potencial hídrico (Fig. 09B) pode ser atribuído ao fechamento estomático (EARL, 2002). O fechamento ocorre antes que o potencial hídrico ou a condutividade hidráulica sejam afetados como medida de prevenção de perda de água, o que gera menor taxa de assimilação do CO_2 (CORNIC; BRIANTAIS, 1991). No entanto, os níveis de CO_2 na câmara subestomática no período de estiagem não foram comprometidos. Uma vez que foi possível perceber que a espécie *Mimosa pogocephala* não apresentou queda acentuada na fotossíntese líquida. O menor potencial hídrico pode ser explicado devido à menor US no período de estiagem em contrapartida, o TRA foliar que se manteve alto. Esta característica indica que as plantas foram capazes de manter o *status* hídrico foliar a partir do fechamento estomático e sugere adaptação das espécies a variação sazonal. Isso indica maior plasticidade da espécie frente a variação ambiental, mantendo o fluxo transpiratório e aumentando a absorção de nutrientes na estação chuvosa, quando a disponibilidade hídrica não é limitante. A queda da relação F_v/F_m nos indivíduos de

C. mucronata (Fig. 06A) do quartzítico no período chuvoso, indica a inativação do centro de reação do FSII em vista de fotoinibição, porém com aumento de NPQ_{max} como forma de fotoproteção. O aumento de F_0 em ambas as espécies na canga durante o período de estiagem indica diminuição da capacidade de transferência de energia de excitação de complexo antena para o centro de reação (BAKER; ROSENQVIST, 2004; BERGANTINO et al., 1995). Entretanto, mesmo com valores de F_v/F_m mais baixos em *C. mucronata*, os valores de ϕ_{FSII} indicam que há estratégia de manutenção da capacidade fotoquímica no quartzítico no período chuvoso. Os maiores valores de NPQ_{Max} nas plantas das duas espécies no período chuvoso, no quartzítico, indicam mecanismo não fotoquímico de dissipação do excesso de energia luminosa como estratégia adaptativa contra danos fotoinibitórios (PEREIRA, 2009). Os valores da ϕ_{FSII} comprovam a redução dos danos foto-oxidativos em função dos valores superiores de NPQ_{Max}, que possuem uma relação com o ciclo das xantofilas, decorrente da ativação do gradiente eletroquímico de prótons entre a membrana do tilacoides (FRANCO; MATSUBARA; ORTHEN, 2007). No período chuvoso, a redução do NPQ_{Max} em canga pode ter contribuído para manutenção da *A*.

A redução da fotossíntese e da transpiração em ambas as espécies no período de estiagem, juntamente com a diminuição da área foliar (Tab. 04), são adaptações à baixa disponibilidade hídrica. Analisando a relação de *A* e *E*, folhas com maior superfície possuem camada limítrofe mais densa com ar parado e sua perda de calor é mais lenta, o que leva ao aumento de *E* acima das taxas de *A*, podendo ser intensificado em ambientes onde a radiação é acentuada e a disponibilidade hídrica escassa (WESTOBY et al., 2002). No entanto, a maior *E* e *A* foram observadas no período chuvoso para ambas as espécies, não sendo observado valores de *E* acima de *A*, provavelmente devido a estrutura do limbo foliar, uma vez que *C. mucronata* apresenta folhas recompostas paripenada e *M. pogocephala* apresentam folhas recompostas bipenadas (DUTRA; GARCIA; LIMA, 2008). Ainda segundo WESTOBY et al. (2002), as espécies que apresentam baixa *MFA* apresentam maiores concentrações de N na folha, maior área de captação de luz solar e aumento da capacidade fotossintética por unidade de massa foliar, como observado nas folhas de *C. mucronata* no período chuvoso em quartzítico e em *M. pogocephala* no período chuvoso em canga. *C. mucronata* apresentou maior MS da folha em canga e período chuvoso, o que leva a crer que esta espécie se utiliza de uma estratégia aquisitiva. O aumento da AF em *M. pogocephala* período chuvoso, pode ter influenciado a esta espécie ao aumento da taxa fotossintética em nível de indivíduo para o referido período onde a incidência solar é menor, atuando com estratégia aquisitiva de nutrientes. O incremento da AF

e *MFA* em *C. mucronata* do quartzítico indica a sazonalidade na alocação de recursos e aumento da fotossíntese, representando estratégia aquisitiva de nutrientes no período chuvoso. Estas respostas estão relacionadas com a maximização da assimilação do carbono e interceptação de luz no período chuvoso, refletindo diretamente na fotossíntese e no balanço de economia de energia da planta (WRIGHT; REICH; WESTOBY, 2001). O que pode indicar benefício para a espécie e ajustamento quanto ao período chuvoso. A maior disponibilidade hídrica no solo no período chuvoso e maior AF, como observado em *C. mucronata* no quartzítico, estão relacionados com maior incidência luminosa, mas também incremento na perda de água (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2016).

Em contrapartida, a diminuição da g_s no período de estiagem está relacionada com a recuperação do status hídrico, mantendo baixos valores de ΨW_{am} , refletindo a maior umidade do ar encontrada em regiões de alta altitude, mesmo no período de estiagem (KUSTER; DE CASTRO; VALE, 2016). Alguns estudos sugerem que espécies do cerrado apresentam alto controle estomático em resposta ao aumento da demanda evaporativa da atmosfera e consequente aumento da transpiração (BUCCI et al., 2005; GOLDSTEIN et al., 2008). A maior *EUA* no período de estiagem em ambas as espécies, evidencia grande vantagem durante a baixa disponibilidade hídrica do solo, especialmente para *C. mucronata*. As espécies estudadas apresentaram ΨW_{md} menor que o ΨW_{am} , o que indica o efeito do aumento do DPV, temperatura atmosférica e do solo, radiação e evaporação ao longo do dia, como verificado em diversos estudos em espécies distintas (MORAES; PRADO, 1998; PEREZ; DE MORAES, 1991). Valores baixos de ΨW_{am} (entre -0,3 a -0,65 Mpa), indicam boa recuperação noturna do estado hídrico foliar, mesmo no período de estiagem, comprovando que as espécies não apresentaram estresse hídrico severo. Valores de ΨW_{md} mais negativos podem estar relacionados com a eficiência no transporte de seiva e resistência (MACINNIS-NG; MCCLENAHAN; EAMUS, 2004). PRADO et al. (2004) indicam que durante o período de estiagem, há uma forte influência das folhas sobre o balanço hídrico com ajuste da transpiração a partir das limitações hidráulicas impostas pelo aumento do déficit de pressão de vapor e limitação da umidade do solo com foco também no indivíduo. A pesquisa indicou que espécies lenhosas do Cerrado como *Gochnatia floribunda* da família Asteraceae apresentou ΨW_{am} de -0,90 Mpa embora não tenha representatividade de estresse hídrico como também não representou diminuição das trocas gasosas, indicando seu bom controle (PRADO et al., 2004). Espécies de Campo Rupestre como *Eremanthus erythropappus* (D.C.) MacLeish e *Miconia coralinae* não sofrem totalmente o estresse hídrico como seria esperado pois a neblina atenua seus efeitos servindo como

alternativa de obtenção de água para a vegetação em períodos de estiagem, gerando aumento do *TRA* e acentuando as trocas gasosas (BOANARES et al., 2019). Essa estratégia também está relacionada ao aumento do Ψ_W no período de estiagem, e como consequência da redução de *E* e *gs*. A água captada pela neblina contribui em até 42 % no conteúdo de água da folha (ELLER; LIMA; OLIVEIRA, 2013). Este estudo também sugere que a água absorvida, além de ser utilizada para reabastecer a capacidade hídrica das plantas, também pode ser liberada na rizosfera aumentando a *US* e contribuindo para a minimização do processo de embolia além de aumentar a disponibilidade de nutrientes. *C. mucronata* e *M. pogocephala* apresentam grande vulnerabilidade a cavitação. A resistência do fluxo de água no xilema é determinada pelo diâmetro e comprimento dos vasos condutores (MCELTRONE et al., 2004) e a tensão mecânica resulta em grandes efeitos na *KL*. Espécies mais vulneráveis a cavitação apresenta potencial de pressão mais alto mediante sazonalidade e eficiência de condutividade diminuída (JACOBSEN et al., 2007). Essa resposta pôde ser observada principalmente no período de estiagem (Fig. 10), resultando na impossibilidade de realização da medição da *Kh* neste período. Esse *trade-off* entre a vulnerabilidade de cavitação e suficiência hidráulica do xilema pode indicar estratégia de tolerância a seca por meio de controle da perda excessiva de água e em conjunto as respostas fotossintéticas no período de estiagem, como fechamento estomático e tempo decorrente de redução da perda de água pela *E*, que pode reduzir os danos do aparato hidráulico (ROWLAND et al., 2015). A arquitetura hidráulica desempenha grande importância quanto a resposta das plantas frente ao estresse ambiental (BRODRIBB; COCHARD, 2009). O suprimento de água e carbono para a fotossíntese são otimizados pela correlação entre a *KL* e *gs* no período chuvoso, que visam aumentar a transpiração. A maximização da absorção hídrica pode ser alcançada pelo aumento na concentração intracelular de solutos, como a prolina, que promove o decaimento do potencial osmótico e hídrico da planta de forma rápida e controlada e aumenta o gradiente do Ψ_W em relação ao solo (CHAVES FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001). Como osmorregulador, a atuação direta da prolina sobre os valores de Ψ_W em *C. mucronata* (Fig. 12) representa um mecanismo de ajustamento osmótico no período chuvoso em ambos os solos, o que não foi observado em *M. pogocephala*. O aumento de prolina pode ter indicação com a redução da tensão mecânica e adaptação metabólica em função da reidratação e aumento da *E* no período chuvoso em ambas as espécies (WILLIGEN et al., 2004), contribuindo para a manutenção do gradiente de Ψ_W e na condução da água entre o solo, raízes e folhas para *C. mucronata*. A manutenção dos índices de clorofila durante a estação de estiagem indica resposta adaptativa das espécies ao déficit hídrico (BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2016). Os maiores

valores de clorofilas Clh *T* e Clh *a* em *M. pogocephala* em canga no período de estiagem, indicam a atuação de mecanismo de fotoproteção em relação ao aparato fotossintético, conseqüentemente, sua menor captação e baixa possibilidade de danos foto-inibitórios, como observado pela manutenção dos valores de *Fv/Fm* em *C. mucronata* em canga no período de estiagem (Fig. 06). O Fe, embora seja essencial para a síntese de pigmentos cloroplastídeos, em altas concentrações pode causar degradação da clorofila, que com a alta temperatura em canga poderia explicar a queda dos valores para *M. pogocephala* no período de estiagem. Entretanto, o aumento da razão Clh *a/b* em *M. pogocephala* na canga indica os ajustes fotossintéticos com redução da Clh *b* nesse ambiente.

A conservação dos Campos Rupestres a partir de estudos envolvendo a fisiologia vegetal ainda conta com poucas pesquisas. As espécies aqui apresentadas possuem respostas singulares comparativamente a outras espécies da família Fabaceae. Com isso, são necessários estudos similares com outras espécies a fim de validar os resultados em nível de ecossistema. Desta forma, este estudo servirá de base para a conservação e restauração de áreas de campos rupestres, bem como projetos com embasamento legal de compensação ambiental e políticas públicas que visem a proteção integral de áreas de campos rupestres em distintos solos.

6. CONCLUSÃO

As condições do ambiente de Campo Rupestre refletem nas adaptações fisiológicas que as espécies *Chamaecrista mucronata* e *Mimosa pogocephala* apresentaram a partir do uso eficiente dos nutrientes e, aclimatação ao período sazonal, este em menor intensidade e aquele principalmente.

Ambas as espécies apresentaram alta eficiência fotossintética, são hiperacumuladoras de Fe e apresentaram estratégias ecológicas e fisiológicas distintas em função do tipo de solo em que se encontram. Ambas apresentam variação entre as estratégias aquisitivas no período chuvoso e conservativas em vista das limitações nutricionais e, em função do custo energético. As respostas indicaram que *C. mucronata* e *M. pogocephala* apresentaram estratégia ecológica estresse tolerante em ambas as estações e tipos de solos. São adaptadas à variação ambiental e a baixa disponibilidade hídrica no período de estiagem. No entanto, foi verificado que ambas as espécies apresentaram ajustes fisiológicos e ajustes nos atributos foliares quando analisado o tipo de solo em que foram estudadas, sendo mais restritivo o solo do Campo Rupestre

quartzítico. Em função da capacidade fotossintética, ambas as espécies apresentaram predomínio de estratégia conservativas de recursos no período de estiagem com a retomada da estratégia aquisitiva no período chuvoso principalmente no solo de quartzítico. Ambas as espécies, apresentam estratégia de tolerância a seca e de conservação da água.

Verificou se por fim, que ambas as espécies são altamente plásticas em frente a variação ambiental e podem ser encontradas em ambos os solos de canga e quartzítico e em função da sazonalidade hídrica sem, contudo, afetar negativamente sua fisiologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, A. et al. Phosphorus- and nitrogen-acquisition strategies in two *Bossiaea* species (Fabaceae) along retrogressive soil chronosequences in south-western Australia. **Physiologia Plantarum**, v. 163, n. 3, p. 323–343, 1 jul. 2018.
- ABRAHÃO, A. et al. Soil types select for plants with matching nutrient-acquisition and -use traits in hyperdiverse and severely nutrient-impooverished campos rupestres and cerrado in Central Brazil. **Journal of Ecology**, v. 107, n. 3, p. 1302–1316, 1 Maio 2019.
- AERTS, R. Nutrient use efficiency in evergreen and deciduous species from heathlands. **Oecologia**, v. 84, p. 391–397, 18 maio 1990.
- AERTS, R.; CHAPIN, F. S. The Mineral Nutrition of Wild Plants Revisited: A Re-evaluation of Processes and Patterns. **Advances in Ecological Research**, v. 30, n. C, p. 1–67, 1999.
- AERTS, R.; DE CALUWE, H. **Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of carex species** *Ecology*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://about.jstor.org/terms>>.
- ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026–2032, 2011.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. **Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities**. **Journal of Experimental Botany** Oxford University Press, 2004.
- BAKKER, M. A.; CARREÑO-ROCABADO, G.; POORTER, L. Leaf economics traits predict litter decomposition of tropical plants and differ among land use types. **Functional Ecology**, v. 25, n. 3, p. 473–483, 2011.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEYT, P. E. **A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves**. [s.l.: s.n.].
- BASU, S. et al. Plant adaptation to drought stress [version 1; referees: 3 approved]. **F1000Research**, v. 5, n. 0, p. 1–10, 2016.
- BENITES, V. M. et al. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 4, p. 569–577, 2007.
- BERGANTINO, E. et al. **A post-translational modification of the photosystem II subunit CP29 protects maize from cold stress**. **Journal of Biological Chemistry**, 1995.
- BHERING, L. L. **Estatística Experimental no Rbio**. [s.l.: s.n.].
- BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. DE A. Adaptação Das Plantas Ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15–32, 2016.
- BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia**, v. 102, p. 425–432, 14 Jan. 1995.
- BOANARES, D. et al. Foliar water-uptake strategies are related to leaf water status and gas exchange in plants from a ferruginous rupestrian field. **American Journal of Botany**, v. 106, n. 7, p. 935–942, 1 jul. 2019.

- BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, v. 3, p. 54–67, 31 ago. 1981.
- BRASIL. Decreto nº 97,632 de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. 10 abr. 1989.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídico. 22 dez. 2006.
- BRODRIBB, T. J.; COCHARD, H. Hydraulic failure defines the recovery and point of death in water-stressed conifers. **Plant Physiology**, v. 149, n. 1, p. 575–584, 2009.
- BRODRIBB, T. J.; HOLBROOK, N. M. Changes in leaf hydraulic conductance during leaf shedding in seasonally dry tropical forest. **New Phytologist**, v. 158, n. 2, p. 295–303, 1 maio 2003.
- BUCCI, S. J. et al. Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plant water potential in Neotropical savanna trees. **Trees - Structure and Function**, v. 19, n. 3, p. 296–304, Maio 2005.
- BUSTAMANTE, M. et al. **Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems** *Braz. J. Biol.* [s.l: s.n.].
- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. **5 N NATURAL ABUNDANCE IN WOODY PLANTS AND SOILS OF CENTRAL BRAZILIAN SAVANNAS (CERRADO)** *S200 Ecological Applications*. [s.l: s.n.].
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. Piracicaba, São Paulo: [s.n.].
- CARMO, F. F. DO; JACOBI, C. M. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. **Rodriguésia**, v. 64, n. 3, p. 527–541, 2013.
- CARMO, F. F. et al. Check-list of vascular plant communities on ironstone ranges of south-eastern Brazil: Dataset for conservation. **Biodiversity Data Journal**, n. March, 2019.
- CARVALHO, M. L.; CARNEIRO, C. E. Leaf morphoanatomy of an endemic massaranduba from Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 21, n. 3, 2021.
- CASTRO, P. DE T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. **Quadrilátero Ferrífero: Avanços dos conhecimentos nos últimos 50 anos**. Belo Horizonte: [s.n.].
- CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, MA. C.; LIMA, N. R. C. DE B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Sobral, CE: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.cnpc.embrapa.br/sac.htm>>.
- CHAPIN III, F. S.; AUTUMN, K.; PUGNAIRE, F. Evolution of suites of traits in response to environmental stress. **The American Naturalist**, v. 142, p. 78–92, 1993.
- CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 199–204, 2001.

- CONAMA. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção I. **Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos**, p. 636–639, 2010.
- CORNELISSEN, J. H. C. et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 335–380, 2003.
- CORNIC, G.; BRIANTAIS, J. M. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ and O₂ reduction in a C₃ leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO₂ concentrations and during drought stress. **Planta**, v. 183, n. 2, p. 178–184, 1991.
- COTA, M. M. T. Estudos em Chamaecrista (Leguminosae) do Planalto de Diamantina, Minas Gerais: flora e novidades taxonômicas. 2016.
- CUNHA NETO, F. V. et al. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 379–387, 2013.
- DE OLIVEIRA DE ARAÚJO, T. et al. *Paspalum urvillei* and *Setaria parviflora*, two grasses naturally adapted to extreme iron-rich environments. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 151, p. 144–156, 1 jun. 2020.
- DE OLIVEIRA, M. M. et al. Growth and split of the dry mass in young plants of amburana (*Amburana cearensis* (fr. all.) ac smith) and umbuzeiro (*Spondias tuberosa* arr. cam.). **Ciências Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1142–1153, 2019.
- DÍAZ, S. et al. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, v. 15, n. 3, p. 295, 2004.
- DONATO, A. M. et al. an Approach on Anatomical Structure of *Chaetostoma Glaziovii* Cogn – Melastomataceae – and Its Successful Establishment At High-Altitude Fields. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 115–128, 2018.
- DUTRA, V. F.; GARCIA, F. C. P.; LIMA, H. C. Mimosoideae (Leguminosae) nos Campos Rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 59, p. 573–585, 2008.
- EARL, H. J. Stomatal and non-stomatal restrictions to carbon assimilation in soybean (*Glycine max*) lines differing in water use efficiency. **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, n. 3, p. 237–246, 2002.
- ELLER, C. B.; LIMA, A. L.; OLIVEIRA, R. S. Foliar uptake of fog water and transport belowground alleviates drought effects in the cloud forest tree species, *Drimys Brasiliense* (Winteraceae). **New Phytologist**, v. 199, n. 1, p. 151–162, Jul. 2013.
- FAUSTINO, L. L.; MARCIANO, C. R.; ANDRADE, G. R. P. Physical quality of soil under secondary forest, leguminous trees, and degraded pasture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. 1–10, 2021.
- FERNANDES, G. W. et al. Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands. **Natureza e Conservação**, v. 12, n. 2, p. 162–165, 1 jul. 2014.
- FERNANDES, G. W. et al. **Biodiversity and ecosystem services in the Campo Rupestre: A road map for the sustainability of the hottest Brazilian biodiversity hotspot. Perspectives**

- in **Ecology and Conservation** Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação, 1 out. 2020.
- FERREIRA, G. L. B. V.; FERREIRA, N. B. V. Exploração minerária e a recuperação de áreas degradadas. **Âmbito jurídico**, v. 11, n. 2, p. 1–4, 2008.
- FIGUEIREDO, M. A. et al. Growing *Periandra mediterranea* on post-mining substrate: Native Fabaceae with potential for revegetation of degraded rupestrian Grasslands in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 2, p. 232–239, 1 abr. 2018.
- FORZZA, R. COMPOSTRINI. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://books.scielo.org>>.
- FRANCO, A. C.; MATSUBARA, S.; ORTHEN, B. Photoinhibition, carotenoid composition and the co-regulation of photochemical and non-photochemical quenching in neotropical savanna trees. **Tree Physiology**, v. 27, p. 717–725, 1 fev. 2007.
- FUJITA, Y.; VANBODEGOM, P. M.; WITTE, J. P. M. Relationships between nutrient-related plant traits and combinations of soil N and P fertility measures. **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, 2013.
- FURQUIM, L. C. et al. Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. **Cientific@ - Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 2, p. 146–156, 14 Maio 2018.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects**, v. 990, n. 1, p. 87–92, 1989.
- GIULIETTI, A. M.; PIRANI, J. R. **Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaço Range, Minas Gerais and Bahia, Brazil**. Rio de: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/276293829>>.
- GOLDSTEIN, G. et al. Water economy of Neotropical savanna trees: Six paradigms revisited. **Tree Physiology**, v. 28, n. 3, p. 395–404, 2008.
- GOMES, V. M. et al. Glomalin-related soil protein reflects the heterogeneity of substrate and vegetation in the Campo Rupestre ecosystem. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 733–743, 2021.
- GRIME, J. P. Vegetation classification by reference to strategies. **Nature Publishing Group**, v. 250, 1974.
- GRIME, J. P. **Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory** *Amer. Natur.* [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.journals.uchicago.edu/t-and-c>>.
- GRIME, J. P.; PIERCE, S. Primary Adaptive Strategies in Organisms Other Than Plants. **The Evolutionary Strategies that Shape Ecosystems**, p. 40–104, 2012.
- HARPER, J. L.; OGDEN, J. **The Reproductive strategy of higher plants: I. The concept of strategy with special reference to *senecio vulgaris* L.** *Journal of Ecology*. [s.l: s.n.].
- HOPPER, S. D. **OCBIL theory: Towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes.** *Plant and Soil*, 2009.

HOPPER, S. D.; SILVEIRA, F. A. O.; FIEDLER, P. L. **Biodiversity hotspots and Ocbil theory**. *Plant and Soil* Springer International Publishing, 1 jun. 2016.

IBRAM. Mineração em números. 2021.

INMET, 2020-2021. **INMET. Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil. Normais Climatológicas (2020/2021)**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>

JACOBI, C. M. et al. Plant communities on ironstone outcrops: A diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 7, p. 2185–2200, jun. 2007.

JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. DO. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1–2, p. 25–33, 2008.

JACOBI, C. M.; DO CARMO, F. F.; VINCENT, R. D. C. Phytosociological study of a plant community on ironstone as support for recovery of a mined area in the iron quadrangle, MG. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 345–353, 2008.

JACOBSEN, A. L. et al. Cavitation resistance and seasonal hydraulics differ among three arid Californian plant communities. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, n. 12, p. 1599–1609, Dez. 2007.

KJELDAHL, J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen korpern. p. 366–382, 1883.

KUSTER, V. C.; DE CASTRO, S. A. B.; VALE, F. H. A. Morphological and physiological responses of three plant species occurring in distinct altitudes in the Neotropical savannah. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 39, n. 4, p. 1039–1049, 2016.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. Second ed. [s.l: s.n.].

LE STRADIC, S. Composition, phenology and restoration of Campo Rupestre Mountain grasslands - Brazil. **Agricultural sciences**, n. December 2012, p. 265, 2012.

LE STRADIC, S.; FERNANDES, G. W.; BUISSON, E. No recovery of campo rupestre grasslands after gravel extraction: implications for conservation and restoration. **Restoration Ecology**, v. 26, p. S151–S159, 1 jun. 2018.

MACINNIS-NG, C.; MCCLENAHAN, K.; EAMUS, D. **Convergence in hydraulic architecture and water relations amongst habitats and across seasons in Sydney Functional Plant Biology**. [s.l: s.n.].

MARTIUS, C. et al. Microclimate in agroforestry systems in central Amazonia: Does canopy closure matter to soil organisms? **Agroforestry Systems**, v. 60, n. 3, p. 291–304, 2004.

MASON, C. M.; DONOVAN, L. A. Evolution of the leaf economics spectrum in herbs: Evidence from environmental divergences in leaf physiology across *Helianthus* (Asteraceae). **Evolution**, v. 69, n. 10, p. 2705–2720, 2015.

MCELDRONE, A. J. et al. Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. **New Phytologist**, v. 163, n. 3, p. 507–517, set. 2004.

MELIS, A.; SPANGFORT, M.; ANDERSSON, B. Light-absorption and electron-transport balance between photosystem II and photosystem I in spinach chloroplasts. **Photochemistry and Photobiology**, v. 45, n. 1, p. 129–136, 1987.

- MESSIAS, M. C. T. B. et al. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 230–242, 2012.
- MESSIAS, M. C. T. B. et al. Soil-Vegetation Relationship in Quartzitic and Ferruginous Brazilian Rocky Outcrops. **Folia Geobotanica**, v. 48, n. 4, p. 509–521, dez. 2013.
- MINAS GERAIS. Instrução de Serviço Sisema nº 02 de 2017. Dispõe sobre os procedimentos fixação, análise e deliberação de administrativos a serem realizados para estágio médio ou avançado de vegetação primária ou secundária em compensação pelo corte ou supressão de rege. p. 40, 7 abr. 2017.
- MORAES, J. A. P. V.; PRADO, C. H. B. DE A. Photosynthesis and Water Relations In Cerrado vegetation. **Oecologia Brasiliensis**, v. 04, n. 01, p. 45–64, 1998.
- MORALES, M. et al. Tocotrienols in *Vellozia gigantea* leaves: Occurrence and modulation by seasonal and plant size effects. **Planta**, v. 240, n. 2, p. 437–446, 2014.
- MOURÃO, A.; STEHMANN, J. R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada na mina do Brucutu. **Rodriguésia**, v. 58, n. 4, p. 775–786, 2007.
- MYERS, N. et al. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. **NATURE** |. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.nature.com>.
- NEGREIROS, D. et al. Seedling growth and biomass allocation of endemic and threatened shrubs of rupestrian fields. **Acta Oecologica**, v. 35, n. 2, p. 301–310, mar. 2009.
- NEGREIROS, D. et al. **Ecologia funcional e filtros ambientais no campo rupestre**. [s.l: s.n.].
- NEGREIROS, D. et al. CSR analysis of plant functional types in highly diverse tropical grasslands of harsh environments. **Plant Ecology**, v. 215, n. 4, p. 379–388, 1 abr. 2014.
- OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil**. New York Chichester, West Sussex: [s.n.].
- OLIVEIRA, R. S. et al. Mineral nutrition of campos rupestres plant species on contrasting nutrient-impoverished soil types. **New Phytologist**, v. 205, n. 3, p. 1183–1194, 1 fev. 2015.
- PEREIRA, A. F. S. Florística, fitossociologia e relação solo vegetação no complexo rupestre do Quadrilátero Ferrífero, MG. p. 169, 2016.
- PEREIRA, E. G. Eduardo Gusmão Pereira Efeitos Tóxicos Do Ferro: Alterações Fisiológicas E. 2009.
- PEREIRA, E. G. et al. Distinct ecophysiological strategies of widespread and endemic species from the megadiverse campo rupestre. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 238, p. 79–86, 1 Jan. 2018.
- PEREZ, C. J. G. DE A. **Crescimento e resistência à seca da algarobeira (*Prosopis juliflora* SW. D. C.) cultivada em solo de cerrado, com ou sem adubo orgânico**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1995. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4344>
- PEREZ, S.; DE MORAES, J. **Influência do estresse hídrico e do pH no processo germinativo da algarobeira**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1991. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3431>

- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide Corrigendum N. **Australian Journal of Botany**, v. 64, n. 8, p. 715–716, 2016.
- PIERCE, S. et al. The leaf economics spectrum of Poaceae reflects variation in survival strategies. **Plant Biosystems**, v. 141, n. 3, p. 337–343, Nov. 2007.
- PIERCE, S. et al. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 444–457, 1 fev. 2017.
- PILÓ, L. B.; COELHO, A.; REINO, J. C. R. Geoespeleologia em rochas ferríferas: cenário atual e conservação. v. 640, p. 125–148, 2015.
- PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. DA. Tipos de vegetação metalófila em áreas da serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, n. 2, p. 13–21, 1989.
- PRADO, C. H. B. DE A. et al. Seasonal leaf gas exchange and water potential in a woody cerrado species community. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, n. 1, p. 7–16, 2004.
- PYLRO, V. S. et al. Aumento da disponibilidade de N via deposição atmosférica e fenologia reprodutiva de *Habenaria caldensis* Kraenzl. (Orchidaceae) no parque estadual do Itacolomi (PEIT) - MG, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 2, p. 25–30, 2011.
- RAMOS, S. J. et al. Native leguminous plants for mineland revegetation in the eastern Amazon: seed characteristics and germination. **New Forests**, v. 50, n. 5, p. 859–872, 15 set. 2019.
- RANDO, J. G. Chamaecrista Moench seções Apoucouita, Chamaecrista e Xerocalyx (Leguminosae - “Caesalpinioideae”) na Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. p. 107, 2009.
- RANDO, J. G.; PIRANI, J. R. Padrões de distribuição geográfica das espécies de Chamaecrista sect. Chamaecrista ser. Coriaceae (Benth.) H. S. Irwin & Barneby, Leguminosae - Caesalpinioideae1. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 34, n. 4, p. 499–513, out. 2011.
- RASBAND, W. ImageJ documentation. v. 59, p. 32, 1997.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, PAULO T. G.; ALVAREZ V, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5º Aproximação**, p. 359, 1999.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ambiente e flora**, p. 556, 1998.
- RIOS, C. O. et al. Assessment of iron toxicity in tropical grasses with potential for revegetating mined areas. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 26, n. 5, p. 2167–2173, 2017.
- ROWLAND, L. et al. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 119–122, 2015.
- SCALON, S. DE P. Q. et al. Water stress in metabolism and initial growth of mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) seedlings. **Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.)**, v. 21, n. 4, p. 655–662, 2011.
- SCHAEFER, E. C. et al. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**, p. 77–102, 2015.

- SCHÄFER, K. V. R. Canopy stomatal conductance following drought, disturbance, and death in an upland oak/pine forest of the New Jersey Pine Barrens, USA. **Frontiers in Plant Science**, v. 2, n. MAY, p. 1–7, 2011.
- SCHOLANDER, P. F. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v. 148, n. 3668, p. 339–346, 1965.
- SEGATTO, F. B. et al. A technique for the anatomical study of potato leaf epidermis. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1597–1601, 2004.
- SILVEIRA, F. A. O. et al. **Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority**. **Plant and Soil**. Springer International Publishing, 1 jun. 2016.
- SOUZA, L. S. et al. Teores de macro e micronutrientes e a relação c/n de várias espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 163–167, 1999.
- SOUZA, M. G. et al. Strains of paraburkholderia originated from rupestrian fields promote the growth of mimosa foliolosa. **Revista Árvore**, v. 44, p. 1–9, 2020.
- SPERRY, J. S.; SALIENDRA, N. Z. Intra- and inter-plant variation in xylem cavitation in *Betula occidentalis*. **Plant, Cell & Environment**, v. 17, n. 11, p. 1233–1241, 1994.
- TABOT, P. T.; ADAMS, J. B. Early responses of *Bassia diffusa* (Thunb.) Kuntze to submergence for different salinity treatments. **South African Journal of Botany**, v. 84, p. 19–29, Jan. 2013.
- TEIXEIRA, P. C. et al. Complexo sortivo do solo (Parte II - Análises Químicas). **Manual de métodos de análise de solo (Portuguese)**, p. 240–244, 2017.
- TYREE, M. T.; EWERS, F. W. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. **New Phytologist**, v. 119, n. 3, p. 345–360, 1991.
- TYREE, M. T.; SPERRY, J. S. **VULNERABILITY OF XYLEM TO CAVITATION AND EMBOLISMA**. **Rev. Plant Phys. Mol. Bio.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.annualreviews.org>.
- VACCARO, S. et al. Métodos de Análise de Tecido Vegetal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Florestas**, n. 48, p. 15–28, 2004.
- VALLADARES, F. et al. **Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy?** **New Phytol.** [s.l.: s.n.].
- VIANA, P. L.; LOMBARDI, J. A. Florística e caracterização dos Campos Rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 1, p. 159–177, 2007.
- WANA, D.; BEIERKUHNLEIN, C. Responses of plant functional types to environmental gradients in the south-west Ethiopian highlands. **Journal of Tropical Ecology**, v. 27, n. 3, p. 289–304, 2011.
- WESTOBY, M. et al. **Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species**. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 2002.
- WILLIGEN, C. VANDER et al. Mechanical stabilization of desiccated vegetative tissues of the resurrection grass *Eragrostis nindensis*: Does a TIP 3;1 and/or compartmentalization of

subcellular components and metabolites play a role? **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 397, p. 651–661, mar. 2004.

WRIGHT, I. J. et al. **The worldwide leaf economics spectrum**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.nature.com/nature>.

WRIGHT, I. J.; REICH, † P B; WESTOBY, M. **Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high-and low-rainfall and high-and low-nutrient habitats** **Functional Ecology**. [s.l: s.n.].

ZAPPI, D. C. et al. Lista das plantas vasculares de Carolés, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Boletim de Botânica Universidade de São Paulo**, v. 2, p. 345–398, 2003.

APÊNDICE

Apêndice A - Equações da Regressão

Tabela 5: Equações da regressão de curva de luz (Fig. 7).

<i>PARAMÊTRO</i>	<i>ESPÉCIE</i>	<i>SUBS.</i>	<i>PERÍODO</i>	<i>EQUAÇÃO</i>	<i>R²</i>	<i>FIGURA</i>
<i>φFSII</i>	<i>C. mucronata</i>	CNG	Estiagem	$\hat{Y}=0,7003^{**}-0,0004^{**}+6,4250E-008*x^2$	0,997	7A
		CNG	Chuvoso	$\hat{Y}=0,7690^{**}-0,0005^{**}+9,9865E-008*x^2$	0,997	7A
		QTZ	Estiagem	$\hat{Y}=0,6143^{**}-0,0007*x+2,0592E-007*x^2$	0,963	7A
		QTZ	Chuvoso	$\hat{Y}=0,6377^{**}-0,0001^{**}-1,3070E-009^{NS}*x^2$	0,999	7A
	<i>M. pogocephala</i>	CNG	Estiagem	$\hat{Y}=0,7632^{**}-0,0004^{**}+8,7113E-008*x^2$	0,997	7B
		CNG	Chuvoso	$\hat{Y}=0,7192^{**}-0,0003^{**}+4,5217E-008*x^2$	0,997	7B
		QTZ	Estiagem	$\hat{Y}=0,6486^{**}-0,0006*x+1,7570E-007*x^2$	0,978	7B
		QTZ	Chuvoso	$\hat{Y}=0,7080^{**}-0,0003^{**}+4,7846E-008*x^2$	0,998	7B
<i>ETR</i>	<i>C. mucronata</i>	CNG	Estiagem	$\hat{Y}=15,0961^{NS}+0,2251*x-6,8365E-005*x^2$	0,986	7C
		CNG	Chuvoso	$\hat{Y}=10,0455^{NS}+0,2241*x-7,1531E-005*x^2$	0,969	7C
		QTZ	Estiagem	$\hat{Y}=32,8962*x+0,0606*x-2,2368E-005*x^2$	0,885	7C
		QTZ	Chuvoso	$\hat{Y}=-1,1786^{NS}+0,2940^{**}-6,5345E-005*x^2$	0,994	7C
	<i>M. pogocephala</i>	CNG	Estiagem	$\hat{Y}=21,1102^{NS}+0,2231*x-6,7162E-005*x^2$	0,984	7D
		CNG	Chuvoso	$\hat{Y}=0,1139^{NS}+0,2650*x-7,6035E-005*x^2$	0,988	7D
		QTZ	Estiagem	$\hat{Y}=31,6634*x+0,1014*x-3,3768E-005*x^2$	0,938	7D
		QTZ	Chuvoso	$\hat{Y}=22,5501^{NS}+0,2241*x-6,2263E-005*x^2$	0,987	7D

Diferenças significativas $P < 0,05$ são identificadas por meio de um asterisco. Diferenças significativas de P no máximo a 5% são identificadas por meio de dois asteriscos. Fonte: Autores, 2022.