
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

**ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS RELACIONADOS AO FOGO
EM ESPÉCIES ARBÓREAS JOVENS DE FABACEAE DO
CERRADO**

Tainah Eduarda Boian Carneiro



**Rio Claro – SP
2022**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

**ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS RELACIONADOS AO FOGO
EM ESPÉCIES ARBÓREAS JOVENS DE FABACEAE DO
CERRADO**

Tainah Eduarda Boian Carneiro

Orientadora: Aline Redondo Martins

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociência, Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” como parte das exigências para obtenção do de Mestre em Biologia Vegetal.

C289a Carneiro, Tainah Eduarda Boian
Atributos morfológicos relacionados ao fogo em
espécies arbóreas jovens de Fabaceae do Cerrado / Tainah
Eduarda Boian Carneiro. -- Rio Claro, 2022
104 f. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientadora: Aline Redondo Martins

1. Fabaceae. 2. Anatomia Vegetal. 3. Estruturas
subterrâneas. 4. Fogo. 5. Rebrotamento. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Atributos morfológicos de espécies arbóreas jovens de Cerrado relacionados ao fogo**

AUTORA: TAINAH EDUARDA BOIAN CARNEIRO

ORIENTADORA: ALINE REDONDO MARTINS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal), área: Biologia Vegetal pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ALINE REDONDO MARTINS (Participação Virtual)
FEIS / UNESP Ilha Solteira



Profª. Drª. ADRIANA HISSAE HAYASHI (Participação Virtual)
Núcleo de Conservação da Biodiversidade / Instituto de Pesquisas Ambientais



Profa. Dra. ALINE BERTOLOSI BOMBO CARDOSO (Participação Virtual)
Pós-Doutoranda do Departamento de Botânica / IB Rio Claro



Signer ID: VCKR6TUOF9...

Rio Claro, 02 de dezembro de 2022

Título alterado para:
Atributos morfológicos relacionados ao fogo em espécies arbóreas jovens de Fabaceae do Cerrado

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação a minha mãe e irmãos, que me apoiaram e acreditaram em mim quando eu mesma não acreditei.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e processo nº 2018/25832-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), os quais agradeço pelo Auxílio Financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa e de muitas outras.

Ao departamento de Biologia e Zootecnia (DBZ) de Ilha Solteira e ao programa de pós-graduação do Instituto de Biociência de Rio Claro, por todo apoio ao longo dos últimos dois anos. Ainda à UNESP e todo seu corpo docente e técnico que tornam possível a excelência na pesquisa e educação, contribuindo para o crescimento do país.

Agradeço imensamente à Prof^a Dr^a Aline Martins, por ter me ensinado com maestria, não apenas tudo que aprendi sobre a pesquisa em botânica até aqui, mas também como exercer essa profissão com compaixão e empatia. Obrigada pela paciência e dedicação ao longo desses anos contribuindo com meu conhecimento e formação profissional.

Ao Wesller, meu companheiro nessa pesquisa, obrigada por compartilhar das dores e das delícias de executar um projeto dessa magnitude. À equipe do LEMAV e LFMV que dedicaram tempo e energia para fazer esse projeto acontecer, obrigada pela dedicação e amizade que tornaram mais leve e divertido esse ciclo que se encerra.

À minha mãe e irmãos, sem o apoio e amor de vocês nada disso seria possível, sou eternamente grata pelo privilégio que é tê-los perto de mim, sendo o lar para onde sempre posso regressar e o porto seguro onde posso descansar.

As minhas amigas de república Bruna e Camila que, por vezes colocaram a mão na massa me auxiliando a executar essa pesquisa e por terem sido a âncora que me manteve sã. Obrigada por cuidarem de mim quando eu não o fiz por mim mesma.

Por fim, aos meus demais amigos e familiares, que são grandes incentivadores. Minha eterna gratidão a todos aqueles que de alguma forma me impulsionaram e contribuíram com meu crescimento pessoal e profissional.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.” - Isaac Newton

RESUMO

O fogo é um evento natural cíclico do planeta desde o Siluriano e vem moldando as comunidades como um agente de seleção natural em diversos ecossistemas. Diversas são as adaptações das espécies vegetais para sobreviver a esses eventos. No Brasil o Cerrado é um bioma em que o fogo faz parte dos ciclos naturais do ecossistema e apresenta grande variedade de espécies da família Fabaceae, constituída por vários gêneros, tendo alguns destes a capacidade de rebrotar após a passagem do fogo. Sendo assim, nosso objetivo foi analisar a sobrevivência ao fogo de plântulas de espécies lenhosas de Fabaceae do Cerrado e avaliar as características morfológicas, anatômicas e de reserva de tais indivíduos. Para tanto, cultivamos mudas em casa de vegetação por 6 meses, quando então realizamos o experimento do fogo em campo. Após experimento os indivíduos foram novamente conduzidos para a casa de vegetação, onde ficaram por mais 6 meses. As análises anatômicas das estruturas subterrâneas foram feitas empregando técnicas usuais de anatomia, realizadas antes do fogo e após seis meses de acompanhamento das plantas pós-fogo em casa de vegetação. Os atributos morfológicos foram acompanhados ao longo de todo experimento. Todas as espécies estudadas apresentaram rebrotamento após o fogo e quatro espécies sobreviveram e se desenvolveram ao longo de seis meses. Das quatro espécies que sobreviveram ao fogo, duas (*E. contortisiliquum* e *Erythrina* spp.) apresentaram taxa de sucesso superior a 50% e duas (*A. cearensis* e *S. alata*) taxa de sucesso inferior a 50%. A maioria das espécies estudadas tiveram rebrotamento do colo da raiz (root-crown) de gemas já presentes nas espécies aos seis meses de idade, variando no grau e proteção dessas em relação à casca. O fogo altera a arquitetura das espécies. As espécies estudadas armazenam principalmente amido em raízes tuberosas. Dessa forma concluiu-se que plantas jovens com seis meses de algumas espécies da família Fabaceae possuem a capacidade de rebrotar após o fogo, a partir de gemas já presentes aos seis meses de idade, utilizando fonte de carboidratos presentes nas estruturas subterrâneas dessas espécies.

Palavras-chave: Fabaceae, leguminosas, anatomia vegetal, estruturas subterrâneas, estratégias de sobrevivência, rebrote, queimadas.

ABSTRACT

Fire is a cyclical natural event on the planet since the Silurian and has been shaping communities as an agent of natural selection in several ecosystems. There are several adaptations of plant species to survive these events. In Brazil, the Cerrado is a biome in which fire is part of the natural cycles of the ecosystem and presents a wide variety of species of the Fabaceae family, consisting of several genera, some of which have the ability to regrow after the passage of fire. Therefore, our objective was to analyze the fire survival of seedlings of woody species of Cerrado Fabaceae and to evaluate the morphological, anatomical and reserve characteristics of such individuals. For this purpose, we cultivated seedlings in a greenhouse for 6 months, when we carried out the fire experiment in the field. After the experiment, the individuals were again taken to the greenhouse, where they stayed for another 6 months. The anatomical analyzes of the underground structures were carried out using usual anatomy techniques, carried out before the fire and after six months of post-fire monitoring of the plants in a greenhouse. Morphological attributes were followed throughout the entire experiment. All studied species showed regrowth after fire and four species survived and developed over six months. Of the four species that survived the fire, two (*E. contortisiliquum* and *Erythrina* spp.) had a success rate greater than 50% and two (*A. cearensis* and *S. alata*) had a success rate of less than 50%. Most of the studied species had regrowth of the root-crown of buds already present in the species at six months of age, varying in the degree and protection of these in relation to the bark. Fire alters the architecture of species. The studied species mainly store starch in tuberous roots. Thus, it was concluded that six-month-old young plants of some species of the Fabaceae family have the ability to regrow after fire, from buds already present at six months of age, using a source of carbohydrates present in the underground structures of these species.

Key-words: Fabaceae, legume, plant anatomy, underground structure, survive strategy, regrowth, fire.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
OBJETIVO GERAL	14
REFERÊNCIAS	15
Cap. I “Capacidade de rebrota de plantas jovens de leguminosas (Fabaceae) arbóreas do cerrado após a passagem do fogo”	18
Introdução	19
Material e Métodos	20
Resultado	29
Discussão	40
Conclusão	43
Referências	44
Cap II “Análise de grau e proteção de gemas e plasticidade na arquitetura de leguminosas (Fabaceae) jovens do cerrado relacionadas ao fogo.”	50
Introdução	51
Material e Métodos	52
Resultado	55
Discussão	67
Conclusão	70
Referências	71
Cap III “Análise anatômicas de atributos relacionados à sobrevivência ao fogo de leguminosas (Fabaceae) arbóreas jovens do Cerrado	75
Introdução	76
Material e Métodos	78
Resultado	79
Discussão	93
Conclusão	98
Referências	99
CONCLUSÃO GERAL	104

INTRODUÇÃO GERAL

Na era Paleozóica no período Siluriano (443 milhões de anos atrás), considerando as condições climáticas da época e o surgimento das plantas terrestres, o ambiente terrestre ficou sujeito a eventos de incêndios naturais pela primeira vez (Pausas & Keeley, 2009). Desde então, o fogo tem sido um dos agentes de seleção natural que molda as comunidades vegetais como as conhecemos hoje (Lamont & He, 2017).

O fogo tem relação com a propagação das gramíneas C4 no Terciário, uma vez que com o aumento da frequência e intensidade dos incêndios da época, grandes clareiras foram abertas em regiões florestais, permitindo maior incidência de luz, o que favoreceu as plantas C4 em relação às C3 (Keeley & Rundel, 2005). Atualmente, o fogo é importante em ambientes de savanas para manter as populações vegetais de gramíneas e lenhosas em equilíbrio (Sankaran et al. 2005).

De acordo com Smit et. al. (2010), fatores como sazonalidade, frequência e intensidade do fogo são características que sozinhas ou combinadas podem ter grande impacto na paisagem e dinâmica das savanas. Segundo Beckage et al. (2011) e Smit et. al. (2010), o sucesso das espécies de gramíneas nas savanas aumenta mediante eventos de fogo com frequência suficiente para impedir que a vegetação lenhosa apresente dominância.

São diversas as adaptações para que as espécies vegetais, gramíneas ou lenhosas, sobrevivam e/ou rebrotem após a passagem do fogo. Estruturas subterrâneas com gemas e capacidade de armazenamento (xilopódios, rizomas, raízes gemíferas e tuberosas), espessamento de ramos e caules da parte aérea, aumento da produção de frutos e sementes após o distúrbio, e até sementes que são estimuladas a germinar pelo fogo, são alguns exemplos (Fidelis & Pivello, 2011). Ambientes savânicos são definidos como territórios onde gramíneas e arbóreas coexistem em uma dinâmica instável, controlada principalmente por dois fatores: competições por recursos, como nutrientes e água, e distúrbios, como predação de grandes herbívoros e fogo (Scholes & Archer,

2003). A precipitação tem influência considerável na estrutura da vegetação das savanas, sendo que áreas com precipitação média anual menor do que 650 mm são definidas como savanas áridas e semi-áridas, e áreas com precipitação média anual superior a 650 mm são consideradas savanas mésicas (Sankaran et. al. 2005).

Segundo Sankaran et.al. (2005), em regiões de savana árida, a baixa precipitação dificulta o estabelecimento da cobertura lenhosa e permite que gramíneas se estabeleçam, diminuindo a influência dos distúrbios, em savanas mésicas, a quantidade de água disponível é suficiente para que a cobertura lenhosa se estabeleça e os distúrbios como herbivoria e fogo se tornam essenciais para que espécies arbóreas e gramíneas coexistam.

Asner et. al. (2009) reforçam a importância dos distúrbios para a dinâmica das savanas, demonstrando que regiões em que grandes herbívoros estão ausentes, a paisagem apresenta até 80% menos solo descoberto e 135% maior área de dossel. Visto que o impacto do fogo nas savanas pode variar dependendo da frequência e intensidade e segundo Smit et. al. (2010), quanto mais frequentes e/ou mais intensos forem os distúrbios por fogo, maiores são as perdas de vegetação lenhosa, principalmente nas épocas de seca típicas dessa fitofisionomia.

O bioma Cerrado, conhecido como savana brasileira, está localizado no centro oeste do Brasil, ocupa aproximadamente 23% de todo território brasileiro (Ribeiro, 2008), estando presente em Goiás, Tocantins, Distrito Federal, Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia, São Paulo, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima e Paraná, além disso é o único bioma que faz divisa com os outros cinco biomas brasileiros (Ribeiro & Walter, 2008). No estudo de Horák-Terra et. al. (2020), foi observado que o clima e a vegetação no centro-oeste brasileiro têm passado por mudanças nos últimos 35k cal BP (milhões de anos antes do presente). Durante o pleistoceno médio (~ 35,0 a ~ 29,6k cal a BP) a região era quente e seca, no entanto o último máximo glacial alterou o clima, aumentando a umidade e baixando a temperatura

durante ~ 29,6 a ~ 6,1k cal a BP e as condições climáticas só voltaram a esquentar diminuindo a umidade durante o holoceno, quando o Cerrado se estabeleceu (Horák-Terra et. al., 2020).

O clima do Cerrado, além de ser um fator determinante para sua origem, é um fator desencadeante dos solos distróficos e distúrbio de fogo, que por sua vez são agentes de seleção fundamentais para manutenção do bioma (Pinheiro & Monteiro, 2010). Segundo Simon et. al. (2009), a vegetação do Cerrado foi provavelmente estabelecida pela adaptação ao fogo, que age como barreira adaptativa para a vegetação dos biomas, com rica biodiversidade, que o cercam.

O Cerrado ocupa mais de dois milhões de quilômetros quadrados, ocorre em altitudes que variam entre 100 e 1.240 metros (Ribeiro, 2008), abriga 3% da biodiversidade mundial e 30% da brasileira e ao menos 300 de suas plantas são utilizadas para consumo humano, seja para alimentação, remédio e/ou comércio. Contém cerca de quatro mil cavernas, que correspondem a 60% de todas as cavernas brasileiras, e suas águas geram a energia para utilização de nove a cada dez brasileiros (WWF, 2012).

A temperatura média anual fica em torno dos 23° C, podendo variar de 40° C para valores em torno de 0° C. A precipitação apresenta grande sazonalidade, tendo na primavera e no verão (outubro a março) uma estação chuvosa e de maio a setembro há o período de seca, no qual há apenas o orvalho para umidificar o solo, a precipitação média anual fica em torno de 1.200 a 1.800 mm (Klein, 2002) caracterizando o Cerrado como savana méstica (Sankaran et. al. 2005).

O solo no Cerrado varia de areia a argila, devido à grande quantidade de materiais de origem Cambrianas, Siluriana, Sedimentos Terciários e Quaternários, que formaram os vários tipos de solo do Cerrado, variando de Latosolo Amarelo, Latosolo Vermelho Amarelo, Latosolo Vermelho Escuro a Solos Brumos Ácidos, Regosolo e Podsolo húmicos e devido a essas condições, os relevos se tornam bastante variáveis e a retenção de água pode ir de 0,51 a 1,51/m²/cm (Ferri, 1971).

Por ser um bioma extenso, este apresenta características abióticas variadas ao longo de seu território, acarretando na formação de diversas fitofisionomias que abrangem desde regiões de campo (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre) e savana (cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) até regiões de formação florestal (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) (Ribeiro & Walter, 2008).

A diversidade de fisionomias encontradas no Cerrado é consequência de um conjunto de fatores, mas entre eles destaca-se a variação do regime de fogo típica do bioma (Fidelis & Pivello 2011; Coutinho 1990; Furley 1999; Matt Davies 2013; Oliveira-Filho & Ratter 2002). O fogo no Cerrado é caracterizado como de superfície, com grande variação na quantidade e qualidade do material combustível e temperatura (85° C - 840° C), além da frequência e velocidade da passagem das chamas (Miranda et. al. 2002).

Segundo Oliveira-Filho & Ratter (2002), a flora lenhosa do Cerrado tem características típicas de vegetação que está sujeita a queimadas periódicas, tais como: troncos e ramos tortuosos, súber espesso, esclerofilia, árvores com ramificações escassas, folhas concentradas nas pontas dos ramos, fenologias de floração e frutificação especializadas (Simon *et al.* 2009), além de grande investimento em estruturas de reservas de carboidratos e nutrientes (Hoffmann & Moreira 2002).

As chances de espécies lenhosas jovens se estabelecerem e chegarem à idade adulta em ambientes savânicos depende da capacidade destas de acumular reservas subterrâneas (Franco 2002). Uma das principais estratégias de sobrevivência a ambientes com regimes de fogo está na capacidade de rebrotamento de órgãos subterrâneos ou da base do caule, uma vez que, as gemas aéreas ainda não estão protegidas pela casca, como em árvores adultas (Hoffmann & Moreira, 2002). Sob regimes de fogo frequente, espécies juvenis lenhosas sem capacidade de rebrotamento, que sofrem perda sucessiva completa da parte aérea, podem ser suprimidas e até eliminadas do ambiente (Hoffmann *et al.*, 2012).

Para espécies herbáceas e arbustivas encontradas em ambientes savânicos comumente são descritas estruturas como xilopódios, raízes gemíferas, raízes tuberosas, sóboles e rizóforos, que estão relacionados com a sobrevivência de tais espécies (Appezato-da-Glória 2015; Pausas *et al.* 2018). Porém poucos são os dados encontrados na literatura que descrevem estratégias que seriam observadas em espécies arbóreas jovens que conseguem sobreviver ao fogo.

Fabaceae está incluída na ordem Fabales e na classe Magnoliopsida (Stevens, 2017), apresenta cerca de 751 gêneros e 19.500 espécies (Lewis *et. al.*, 2005), com distribuição global e grande importância ecológica e econômica (Schrire *et. al.*, 2005), sendo a terceira maior família em número de espécies no mundo (LPWG, 2017).

Muitos são os gêneros da família Fabaceae que rebrotam após a passagem do fogo (Auld & O'Connell, 1991; Mendonça-Torres *et al.* 2017; Lima *et al.* 2017), descritos na literatura como espécies herbáceas e arbóreas que apresentam sistemas subterrâneos especializados como xilopódios, rizomas e raízes gemíferas, além de grande variedade morfológica e fisiológica (Fidelis *et al.* 2009). A partir do estudo anatômico de leguminosas arbóreas esperamos reconhecer as estratégias e estruturas envolvidas na sobrevivência das plantas à passagem do fogo em um contexto de capacidade de regeneração de indivíduos jovens, dado que os diversos tipos de sistemas subterrâneos são importantes para os estudos ecológicos.

Sendo assim, esperamos entender as estruturas morfoanatômicas envolvidas na estratégia de sobrevivência dessas espécies, focando principalmente nas estruturas subterrâneas, posicionamento de gemas e na alocação e armazenamento de reservas das espécies escolhidas.

OBJETIVO GERAL

Este projeto teve como objetivo analisar a sobrevivência ao fogo de plântulas de espécies lenhosas de Fabaceae do Cerrado, sob condições experimentais e avaliar as características morfológicas, anatômicas e de reserva de tais indivíduos.

Objetivos específicos

Dessa forma o estudo visou responder:

- 1) As espécies de Fabaceae escolhidas apresentarão rebrotamento aos 6 meses de idade após o experimento de fogo?
- 2) Se o rebrotamento ocorre, ele se dá a partir de ramos aéreos ou são rebrotamentos originados de órgãos subterrâneos? As gemas que se desenvolveram no pós fogo já se encontravam nas espécies aos 6 meses de idade ou foram induzidas pelo fogo?
- 3) O fogo modifica a morfologia (arquitetura) de tais espécies?
- 4) As espécies em estudo apresentam algum tipo de carboidrato de reserva em sua estrutura aérea ou subterrânea que auxilia no rebrotamento pós fogo?

A hipótese inicial era de que as espécies rebrotariam ao longo dos seis meses após o fogo a partir de gemas já presentes nas plantas e localizadas principalmente na região de root-crown. Além disso, o fogo poderia modificar a arquitetura das espécies e as espécies que rebotam pós-fogo apresentariam estruturas subterrâneas capazes de armazenar carboidratos de reserva.

REFERÊNCIAS

- Appezzato-da-Glória B. (2015). Morfologia de sistemas subterrâneos de plantas. Morphology of plant underground systems. 3i Editora: Belo Horizonte, Brasil
- Asner, G. P., Levick, S. R., Kennedy-Bowdoin, T., Knapp, D. E., Emerson, R., Jacobson, J., Martin, R. E. (2009). Large-scale impacts of herbivores on the structural diversity of African savannas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(12), 4947- 4952.
- Auld, T. D., & O'Connell, M. A. (1991). Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. *Australian Journal of Ecology*, 16(1), 53-70.
- Beckage, B., Gross, L., & Platt, W. (2011). Grass feedbacks on fire stabilize savannas. *Ecological Modelling*, 222, 2227-2233.
- Coutinho L.M. (1990) Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado. In: Goldammer J.G. (eds) Fire in the Tropical Biota. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 84. Springer, Berlin, Heidelberg
- Ferri, M. G. (1971) (Comp.). III Simpósio sobre o Cerrado. Edgarde Blucher Ltda., 239 p.
- Fidelis A., Appezzato-da-Glória B. & Pfadenhauer J. (2009). A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. Campos Sulinos. 88.
- Fidelis, A., & Pivello, V. R. (2011). Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*(2), 12-25.
- Franco A. C. (2002). Ecophysiology of woody plants. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna, 178-200.
- Furley P. A. (1999) The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. *Global Ecology and Biogeography*, 8: 223-241.
- Hoffmann W. A. & Moreira A. G. (2002). The role of fire in population dynamics of woody plants. The Cerrados of Brazil. *Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 159-177
- Hoffmann, W. A., Geiger, E. L., Gotsch, S. G., Rossatto, D. R., Silva, L. C., Lau, O. L., Haridasan, M. and Franco, A. C. (2012), Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters*, 15: 759-768.
- Horák-Terra, I., Cortizas, A. M., Da Luz, C. F. P., Silva, A. C., Mighall, T., De Camargo, P. B., Vidal-Torrado, P. (2020). Late Quaternary vegetation and climate dynamics in central-eastern Brazil: insights from a ~35k cal a bp peat record in the Cerrado biome. *Journal of Quaternary Science*, 35(5), 664-676. doi:10.1002/jqs.3209
- Keeley, J. E., & Rundel, P. W. (2005). Fire and the Miocene expansion of C4 grasslands. *Ecology Letters*, 8(7), 683-690. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00767.x

- Klein, A. L (2002). (Org.). Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois. Unesp. 193p
- Lamont, B. B., & He, T. (2017). Fire-proneness as a prerequisite for the evolution of fire- adapted traits. *Trends in Plant Science*, 22(4), 278-288.
- Legume Phylogeny Working Group (LPWG). (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *Taxon*, 66: 44-77
- Lewis, G., Schrire, B., Mackinder, B. & Lock, M. (eds.), (2005). *Legumes of the world*. Richmond, U.K.: Royal Botanic Gardens, Kew.
- Lima E. D. S., Lima H. S. & Ratter, J. A. (2017). After fire changes in the structure and composition of the woody vegetation of a mesotrophic Cerrado over a five-year period (1997-2002) in Nova Xavantina, MT, Brazil. *Cerne*, Lavras, 15: 468-480.
- Matt Davies G. (2013). Understanding fire regimes and the ecological effects of fire. *Fire phenomena and the Earth system: an interdisciplinary guide to fire science*, 95-124.
- Mendonça-Torres D., Fontes M. A. L., & Samsonas H P. (2017). Relações solo-vegetação na estruturação de comunidades de cerrado sensu stricto no sul de Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 68: 115-128.
- Miranda H. S., Bustamante M. M., Miranda A. C., Oliveira P. & Marquis R. (2002). The fire factor. *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 51-68.
- Oliveira Filho A. T. & Ratter J. A. (2002). Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*, 91-120
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, 59(7), 593-601. doi:10.1525/bio.2009.59.7.10
- Pausas J.G., Lamont B.B., Paula S., Appezzato-da-Glória B. & Fidelis A. (2018) Unearthing belowground bud banks in fire prone ecosystems. *New Phytologist*, 217: 1435-1448.
- Pinheiro, M.; Monteiro, R.. (2010) Contribution to the discussions on the origin of the cerrado biome: Brazilian savanna. *Brazilian Journal Of Biology*, São Carlos, v. 70, n. 1, p.95- 102.
- Ribeiro, J. F & Walter, B. M. T. (2008) As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. de; Ribeiro, J. F. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora v. 2*. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS,.876 p.
- Sankaran, M., Hanan, N. P., Scholes, R. J., Ratnam, J., Augustine, D. J., Cade, B. S., Zambatis, N. (2005). Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, 438(7069), 846-849. doi:10.1038/nature04070

- Scholes, R., & Archer, S. (2003). Tree-Grass Interactions in Savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 517-544. doi:10.1146/annurev.ecolsys.28.1.517
- Schrire, B. D., Lavin, M., & Lewis, G. P. (2005). Global distribution patterns of the Leguminosae: insights from recent phylogenies. *Biologiske skrifter*, 55, 375-422.
- Simon, M. F., Grether, R., de Queiroz, L. P., Skema, C., Pennington, R. T., & Hughes, C. E. (2009). Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(48), 20359-20364. doi:10.1073/pnas.0903410106
- Smit, I. P. J., Asner, G. P., Govender, N., Kennedy-Bowdoin, T., Knapp, D. E., & Jacobson, J. (2010). Effects of fire on woody vegetation structure in African savanna. *Ecological Applications*, 20(7), 1865-1875. doi:10.1890/09-0929.1
- Stevens, P. F. (2001 em diante), (2017). Angiosperm Phylogeny Website. Disponível em: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/welcome.html>.
- WWF. (2012). Cerrado berço das águas. Brasília. BRAZIL.

**Capítulo I: Capacidade em rebrota de plantas jovens de leguminosas
(Fabaceae) arbóreas do cerrado após a passagem do fogo**

INTRODUÇÃO

O fogo e o surgimento das plantas terrestres estão relacionados e são datados de aproximadamente 540 milhões de anos (Pausas & Keeley 2009). Tal fogo é um fator evolutivo bastante importante para diversos ecossistemas (Bond & Keeley 2005; Lamont & He 2017). A estrutura das comunidades vegetais está diretamente relacionada ao regime de fogo, ou seja, sua frequência, duração, intensidade, penetração da temperatura e severidade (Bond & Wilgen 1996; Whelan 1995) essa relação dinâmica entre fogo e vegetação é fundamental para a manutenção de ecossistemas inflamáveis (Whelan 1995).

Para o Cerrado o fogo é um importante fator ecológico e evolutivo (Coutinho 1982), estando presente no bioma há pelo menos 4 milhões de anos (Simon et al. 2009). As características do fogo como temperatura, frequência e velocidade, podem variar com a quantidade e qualidade de material combustível (Miranda et al. 2002). Autores como Coutinho (1990), Furley (1999), Oliveira-Filho & Ratter (2002), Fidelis & Pivello (2011) e Matt Davies (2013), apontam essas variações no regime de fogo como fator responsável pelo mosaico de fisionomias presentes nesse bioma.

A regeneração rápida do Cerrado após a passagem do fogo (Buisson et al. 2019) demonstra alta resiliência do bioma a este distúrbio (Coutinho 1982) e um dos fatores que possibilita essa alta resiliência é a capacidade de rebrotar a partir de gemas presentes na estrutura vegetativa de diversas espécies do Cerrado, que permite que tais espécies sobrevivam após a passagem do fogo (Whelan 1995; Pausas et al. 2004; Pausas et al. 2018).

A capacidade de acumular reservas e rebrotar para indivíduos jovens é ainda mais importante para o estabelecimento das espécies e para garantir que possam chegar à idade adulta em ambientes como o Cerrado (Franco 2002). Em alguns casos a perda completa de biomassa aérea (topkill) pode ocasionar supressão de espécies lenhosas juvenis que não têm capacidade de rebrotar sob ocorrência de fogo (Hoffmann et al. 2012). Sendo assim, a persistência de tais espécies

na savana requer capacidade de rebrotamento da base caulinar ou de órgãos subterrâneos, uma vez que as gemas aéreas ainda podem não estar adequadamente protegidas por uma casca robusta (Hoffmann & Moreira 2002, Hoffmann et al. 2012).

Fabaceae é uma das famílias botânicas que se destaca entre as Angiospermas por ser a terceira maior em número de espécies e a segunda em importância econômica (LPWG 2017). Suas espécies apresentam distribuição cosmopolita e diversidade morfológica, fisiológica e ambiental, incluindo muitas vezes o sistema subterrâneo com adaptações relacionadas ao fogo (xilopódios, rizomas, raízes gemíferas) (Fidelis et al. 2009; Simon et al. 2009). No Cerrado, as Leguminosas estão entre as famílias com maior representatividade em número de espécies (Oliveira et al. 2015; Oliveira Filho 2017; Paula et al. 2015; Filgueiras 2002; Lima et al. 2017; Mendonça- Torres et al. 2017; Miranda et al. 2002; Silva & Souza 2017).

O presente estudo visou contribuir para o entendimento da sobrevivência de plantas jovens de Fabaceae no Cerrado após a passagem do fogo, entendendo a dinâmica de crescimento, produção de biomassa e rebrotamento pós-fogo para algumas espécies da família. Com o objetivo de avaliar a capacidade de sobrevivência, rebrotamento e reestabelecimento de plantas jovens de espécies lenhosas de Fabaceae do Cerrado após experimento de fogo controlado.

MATERIAL E MÉTODOS

Material botânico

Para realização do estudo foram selecionadas seis espécies da família Fabaceae que ocorrem no Cerrado (Tabela 1). As sementes foram adquiridas através da Associação “Rede de sementes do Cerrado” (*Amburana cearensis*, *Stryphnodendron adstringens*, *Tachigali vulgaris*, *Senna alata* e *Enterolobium contortisiliquum*) e da empresa Caiçara (espécie não identificada do gênero *Erythrina*).

Tabela 1: Espécies de Fabaceae selecionadas para estudo (Flora do Brasil, 2020).

Espécie	Nome popular	Tipo de vegetação
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	Amburana	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Tamboril da mata	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)
<i>Erythrina</i> sp.	-	-
<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	Fedegoso	Caatinga (stricto sensu), Campo Limpo, Cerrado (lato sensu), Floresta de Terra Firme, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista, Restinga
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Barbatimão	Campo Rupestre, Cerrado (lato sensu)
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	Carvoeiro	Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Savana Amazônica

Teste de germinação e cultivo

Foram conduzidos testes de germinação preliminares com diferentes tipos de escarificação e substrato de acordo com Salomão (2003), Martins et al. (2008), Alexandre et al. (2009), Braga et al. (2010), Matheus et al. (2010), Santos et al. (2013), Abreu et al. (2017) e Almeida et al. (2017), uma vez que são espécies conhecidas por apresentarem dormência tegumentar. As espécies em estudo e suas respectivas técnicas de escarificação estão descritas na Tabela 2, com exceção de *Amburana cearensis*, que não apresenta nenhum tipo de dormência (Figura 1).

Tabela 2: Lista de tratamentos empregados na germinação das sementes de leguminosas arbóreas.

Espécies	Escarificação mecânica	Escarificação química	Tempo de germinação
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Com lixa	-	3 dias
<i>Erythrina</i> sp.	Sem escarificação		4 dias
	Com lixa	-	9 dias
<i>Senna alata</i>	Lado oposto do hilo cortado	Ácido Sulfúrico 100%/45min	3 a 5 dias
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	Com lixa	Ácido sulfúrico 100%/3min	6 a 10 dias
<i>Tachigali Vulgaris</i>	Com lixa Lado oposto do hilo cortado	-	3 dias



Figura 1. Sementes de Fabaceae e teste de germinação das espécies de leguminosas do Cerrado que foram cultivadas para o experimento do fogo. **A.** Sementes que vieram da Rede de Sementes do Cerrado, em sacos plásticos para armazenamento em geladeira. **B.** *Erythrina* sp. **C.** Sementes das espécies de todas as leguminosas separadas para cultivo em casa de vegetação. **D.** *E. contortisiliquum*. **E.** *M. opacum*. **F.** *S. adstringens*. **G.** *S. alata*. **H.** *T. vulgaris*. **I.** Teste de germinação com todas as espécies de leguminosas. Figura A: (1) *S. adstringens*; (2) *A. cearensis*; (3) *M. opacum*; (4) *E. contortisiliquum*; (5) *S. alata*; (6) *T. vulgaris*.

Após o estabelecimento e otimização de técnicas de quebra de dormência, a partir da segunda quinzena de dezembro de 2020, os indivíduos foram cultivados em bandejas com 32 tubetes cada, as bandejas foram identificadas com plaquinhas de metal. Os tubetes foram preenchidos com substrato 1:1 de terra vegetal e vermiculita na casa de vegetação na UNESP/FEIS, que foi mantida em temperatura média de 27°C e irrigada por dois minutos seis vezes ao dia (Figura 2 A-C).

A germinação e o desenvolvimento dos indivíduos foram acompanhados semanalmente e foram coletados dados de altura da planta com auxílio de régua, número de folhas e diâmetro do caule com auxílio de um paquímetro, um mês, três meses e seis meses após a germinação (Figura 3). Quando as plantas atingiram a idade juvenil (6 meses) o experimento de fogo foi realizado.

Desenho experimental

Ao final dos seis meses, as espécies foram agrupadas em 3 parcelas de forma totalmente aleatória, diante do número total de indivíduos obtidos por cada espécie (Tabela 3) (Figura 3 C e D). Tais parcelas significam a realização do experimento de fogo em triplicata. A distribuição dos indivíduos ao longo das parcelas também foi totalmente aleatorizada através de sorteio. Além disso, foram separados aproximadamente oito indivíduos de cada espécie para análises de biomassa com 6 meses de idade.

Tabela 3 Número de indivíduos de cada espécie por parcela, sendo metade deles indivíduos controle e a outra metade indivíduos que foram para o experimento de fogo.

Espécies	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Total
<i>Erythrina</i> sp	12	12	12	36
<i>Tachigali vulgaris</i>	28	28	28	84
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	10	10	10	30
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	28	28	28	84
<i>Senna alata</i>	28	28	28	84
<i>Amburana cearensis</i>	20	20	20	60



Figura 2. Casa de vegetação onde as mudas de leguminosas foram cultivadas. **A e B.** Casa de vegetação com aproximadamente 20 dias de cultivo. **C.** Com aproximadamente dois meses de cultivo, cada indivíduo já apresenta um número de identificação. **D.** Mudas aos seis meses de idade envasadas em canos de PVC na mesma semana em que foi realizado o experimento do fogo.



Figura 3. Coleta de dados dos indivíduos antes do fogo e transporte e transplante das mudas para o campo no dia do experimento do fogo. **A.** Medidas das mudas no primeiro mês após a germinação. **B.** E aos 6 meses, poucos dias antes do experimento do fogo. **C.** As plantas que foram sorteadas para o experimento foram separadas das mudas controle. **D.** Transporte das leguminosas para o campo para o experimento de fogo. **E e F.** Equipe dos laboratórios LEMAV e LFMV plantando as mudas nas parcelas, conforme esquema de sorteio feito previamente. **G.** Preparação da parcela com a enterra dos Logger para aferir temperatura do fogo durante o experimento. **H.** Parcelas prontas antes do fogo

Os indivíduos aleatorizados de cada espécie foram distribuídos mantendo-se 1m de distância entre eles em campo nas três parcelas (com a extensão de 22 x 22 m) preparadas para o experimento de fogo localizadas na FEPE – “Pomar” (Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – UNESP – Ilha Solteira-SP). As mudas foram mantidas em seus tubetes e enterradas rentes ao solo, expondo a parte aérea das plântulas/plantas jovens (Figura 3 H). Ao redor de cada parcela foram feitos aceiros de 4 m de largura para evitar que o fogo se espalhasse (Figura 4 D).

Antes do início do experimento, foi medida a quantidade de material combustível de cada parcela através da coleta de biomassa em uma área de 0,30x0,30 m em três repetições. O material combustível foi acondicionado em sacos de papel, levados para secar em estufa a 80°C por 48 h, para então ser calculado a quantidade de material combustível por parcela e adequar cada uma delas para conter entre 400 e 600 g/m², quantidade normalmente encontrada em áreas de Cerrado (Rissi et al., 2017).

O experimento de fogo foi conduzido no dia 02 de julho de 2021, com início às 15:40 h, a umidade relativa do ar era de aproximadamente 35%, com a temperatura média do ar próxima a 30° C, e velocidade do vento de 2,5 a 3 km/h e com 0 mm de precipitação. Tais dados foram coletados na estação meteorológica localizada ao lado do experimento (Figura 5). As parcelas foram queimadas separadamente a fim de manter a independência entre as réplicas (Figura 4 A-C).



Figura 4. Experimento do fogo controlado realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP – Ilha Solteira/SP. **A.** Imagem aérea do início do incêndio na primeira parcela. **B.** Imagem em terra do início do fogo na segunda parcela. **C.** Final fogo na parcela dois. **D.** Imagem aérea das três parcelas logo após o experimento. **E e F.** Retirada das mudas de campo para conduzi-las para casa de vegetação. **G.** Equipe LEMAV e LFMV que contribuíram para o experimento. **H.** Imagem das parcelas queimadas uma semana após o experimento.



Figura 5. Estação meteorológica da UNESP – Ilha Solteira e os dados que ela gera de 5 em 5 minutos, que foram retirados do site “<http://clima.feis.unesp.br/>”.

O experimento foi realizado com auxílio da brigada local, na direção do vento (‘headfire’) (Whelan, 1995). Após o fogo, as plantas foram removidas das parcelas no campo (Figura 4 E e F) e replantadas em canos de PVC com 50 cm de altura a fim de preservar as características das estruturas subterrâneas até o final do experimento (6 meses após o fogo), quando os indivíduos atingiram um ano de idade (Figura 2 D). O substrato utilizado foi terra vegetal e areia na proporção de 1:1. As espécies foram acompanhadas em casa de vegetação por mais seis meses, a fim de verificar sua capacidade de sobrevivência e/ou rebrote após o distúrbio.

O rebrote das espécies foi monitorado diariamente no pós-fogo. Foram mensurados ao final do experimento (12 meses) dados de (a) comprimento total da parte aérea e do sistema subterrâneo, (b) número de folhas e ramos, (c) diâmetro da base do caule (d) Massa fresca da parte aérea e do sistema subterrâneo e após secagem em estufa a 60°C até peso constante. Plântulas/plantas jovens não queimadas, com as mesmas respectivas idades, foram mantidas também sob cultivo nas mesmas condições e mensuradas após um ano como um tratamento controle à queima experimental.

Para análise estatística das variáveis analisadas no experimento de campo (comprimento total da parte aérea e do órgão subterrâneo, número de folhas, diâmetro da base do caule e massa

fresca e massa seca da parte aérea e do órgão subterrâneo) foi realizada uma análise de variância (ANOVA) e teste de Turkey a 5% de probabilidade; de dois fatores (fatores: idade e fogo) separadamente para cada espécie. Para realização da ANOVA e o teste de Turkey foi utilizado o software SISVAR®

RESULTADOS

Germinação e cultivo

Das seis espécies propostas inicialmente, cinco foram cultivadas em casa de vegetação. Não obtivemos sucesso na germinação das sementes de *Machaerium opacum* (Cerrado, latu sensu), mesmo utilizando testes de quebra de dormência recomendados na literatura. Tal espécie foi substituída por sementes de *Erythrina sp.* que está em fase de identificação da espécie botânica.

Foram utilizadas técnicas de escarificação mecânica e química para quebra de dormência das espécies de acordo com a Tabela 4. As espécies foram cultivadas em bandejas contendo 32 tubetes cada.

Tabela 4. Dados de método de escarificação, tempo para início da geminação e número de sementes germinadas para cada espécie estudada.

Espécies	Método de quebra de dormência	Número de sementes plantadas	Tempo de germinação (dias)	Total de indivíduos germinados	Total de indivíduos cultivados
<i>A. cearensis</i>	Não apresenta dormência	192	7-48	40,6%	100%
<i>E. contortisiliquum</i>	Escarificação Mecânica (EM)	192	7-10	92,1%	54,2%
<i>Erythrina sp.</i>	Escarificação Mecânica (EM)	260	6-30	16,1%	100%
<i>S. alata</i>	Escarificação Química (EQ)	192	7-9	82,2%	60,7%
<i>S. adstringens</i>	Escarificação Química (EQ)	192	12-50	41,1%	100%
<i>T. vulgaris</i>	Escarificação Mecânica (EM)	288	8-16	41,6	80%

Experimento pós-fogo

Com relação ao experimento, a duração do fogo em cada parcela foi de aproximadamente 10 minutos, a temperatura do fogo variou de 300° C a 470° C e a altura máxima das chamas foi de 1 m (Tabela 5) (Figura 4).

Tabela 5. Dados sobre o tempo de fogo e altura das chamas para cada parcela durante o experimento.

	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3	
Metros da parcela (m)	Hora	Altura da chama (m)	Hora	Altura da chama (m)	Hora	Altura da chama (m)
Início	15:40	0,5	16:01	0,5	16:20	0,5
5	15:41	1	16:02	1	16:21	0,5
10	15:44	0,5	16:03	0,5	16:23	0,5
15	15:45	0,5	16:03	0,5	16:24	0,5
20	15:46	1	16:05	0,5	16:26	0,5

Sobrevivência e Rebrotamento

Quanto ao rebrotamento após o fogo, todas as espécies estudadas apresentaram o desenvolvimento de gemas no primeiro mês após o experimento. *Stryphnodendron adstringens* e *Tachigali vulgaris* apresentaram rebrotamento em apenas um indivíduo na parcela 1 e 2 respectivamente, ambos 29 dias após o fogo.

S. adstringens teve taxa de mortalidade de 100% dos indivíduos que rebrotaram e 93,33% dos indivíduos controle (Tabela 6). Já *T. vulgaris* teve a taxa de rebrotamento de 11,9%, com sobrevivência de 11,11% desses indivíduos até o final do experimento. Devido à baixa taxa de rebrotamento e sobrevivência dessas espécies, sendo que *S. adstringens* não se desenvolveu bem em casa de vegetação e *T. vulgaris* não rebrotou/sobreviveu ao fogo, os dados de crescimento e biomassa subsequentes não foram realizados para elas.

Tabela 6. Taxa de mortalidade, rebrote e sobrevivência das leguminosas estudadas.

Espécie	Rebrotamento	Sobrevivência da rebrota	Sobrevivência Controle 1 ano
<i>A. cearensis</i>	43,3%	80,5%	61,4%
<i>E. contortisiliquum</i>	71,4%	89,5%	100%
<i>Erythrina sp.</i>	72,2%	58,3%	100%
<i>S. alata</i>	23%	100%	100%
<i>S. adstringens</i>	13,3%	0%	6,6%
<i>T. vulgaris</i>	11,9%	11,1%	78,5%

Amburana cearensis apresentou o primeiro rebrotamento aos 21 dias depois do fogo em indivíduos da parcela 2 e 3, enquanto na parcela um foi verificado o primeiro rebrotamento apenas no 23º dia; a altura dos rebrotes variou entre a base do caule e gemas axilares. *A. cearensis* apresentou uma taxa de rebrote de 43,33%, com 80,56% desses indivíduos atingindo a idade de um ano (seis meses pós-fogo). Apesar da espécie ter apresentado uma taxa de mortalidade de 19,44% dos indivíduos rebrotados, também é possível observar uma mortalidade de 38,57% dos indivíduos controle, demonstrando que a mortalidade dos indivíduos rebrotados não necessariamente foi causada pelo distúrbio de fogo e sim por problemas de aclimação em casa de vegetação (Tabela 6).

Erythrina sp. apresentou o primeiro rebrote na parcela 2 com 9 dias após o fogo, uma taxa de rebrotamento de 72,22% e sobrevivência de 58,34% dos indivíduos que rebrotaram até seis meses após o fogo (Tabela 6). Além disso o local do desenvolvimento das gemas e rebrotamento variou, sendo alguns observados na base caulinar e outros na região subterrânea. Já *Enterolobium contortisiliquum* teve o primeiro rebrote na parcela 2 registrado 15 dias após o fogo e os rebrotamentos subsequentes ocorreram entre o 39º e o 76º dia após o fogo, sendo todos os rebrotamentos ocorreram na base do caule. Apesar de os indivíduos de *E. contortisiliquum* levarem mais dias para rebrotarem, estes apresentem uma taxa de sobrevivência de 89,5% após a rebrota (Tabela 6).

Diversos indivíduos de *Senna alata* foram registrados com rebrotamento no primeiro mês após o fogo, tendo a parcela 1 e 2 sido as primeiras com 9 dias passados do experimento seguido da parcela 3 com 15 dias, totalizando uma taxa de rebrotamento de 23% ao final do experimento com 0% de mortalidade (Tabela 6), enquanto a posição do aparecimento das gemas variou entre a base do caule (gemas cotiledonares) e a inserção das primeiras gemas axilares.

Com relação ao desenvolvimento das espécies que rebrotaram após a passagem do fogo, quando comparados aos indivíduos controle da mesma espécie, observamos que *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* sp. e *S. alata* levaram até seis meses para se recuperarem do distúrbio.

No sétimo mês de idade das plantas e um mês após a passagem do fogo, a altura das plantas que passaram pelo experimento de fogo era significativamente menor para todas as espécies (Figuras 6A, 7A, 8A e 9A), enquanto o diâmetro do caule só variou para *E. contortisiliquum*, sendo menor nas plantas que passaram pelo fogo em relação ao controle (Figura 7 B). Quanto ao número de folhas, só não houve diferença significativa para *Erythrina* sp., visto que *S. alata* e *E. contortisiliquum* apresentaram menos folhas nos indivíduos queimados, o que não acontece para *A. cearensis* em que o controle apresentou significativamente menos folhas que os indivíduos que passaram pelo fogo (Figuras 6C, 7C, 8C e 9C).

Três meses após o experimento do fogo, a altura das plantas que passaram pelo experimento de fogo era significativamente menor para todas as espécies (Figuras 6A, 7A, 8A e 9A), assim como nas medidas do primeiro mês pós-fogo, no entanto não houve diferença no diâmetro do caule entre as plantas do experimento de fogo e controle para nenhuma das espécies (Figuras 6B, 7B, 8B e 9B). Com relação ao número de folhas foi observada diferença estatística apenas para *S. alata* que apresentou um número maior de folhas para as plantas que passaram pelo fogo do que o controle (Figura 9C).

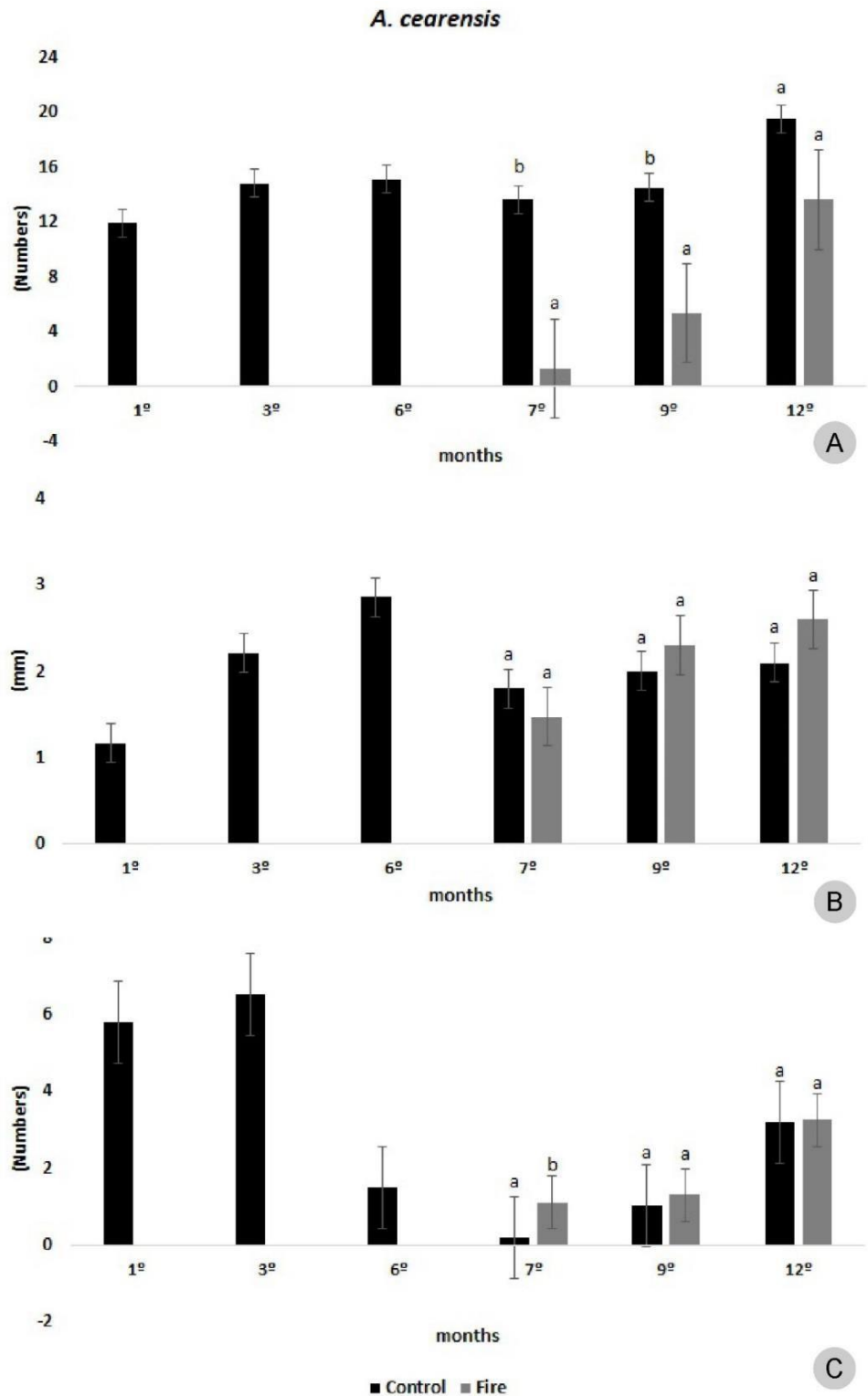


Figura 6. Gráficos de medidas biométricas dos indivíduos controle e que passaram pelo fogo de *Amburana cearensis* ao longo dos 12 meses de experimento mostrando: **A.** Taxa de crescimento. **B.** Diâmetro do caule. **C.** Número de folhas. Pelo teste de Turkey resultados sem diferença significativa estão representados por letras iguais “a” e resultados com diferença significativa por letras diferentes “a” e “b”.

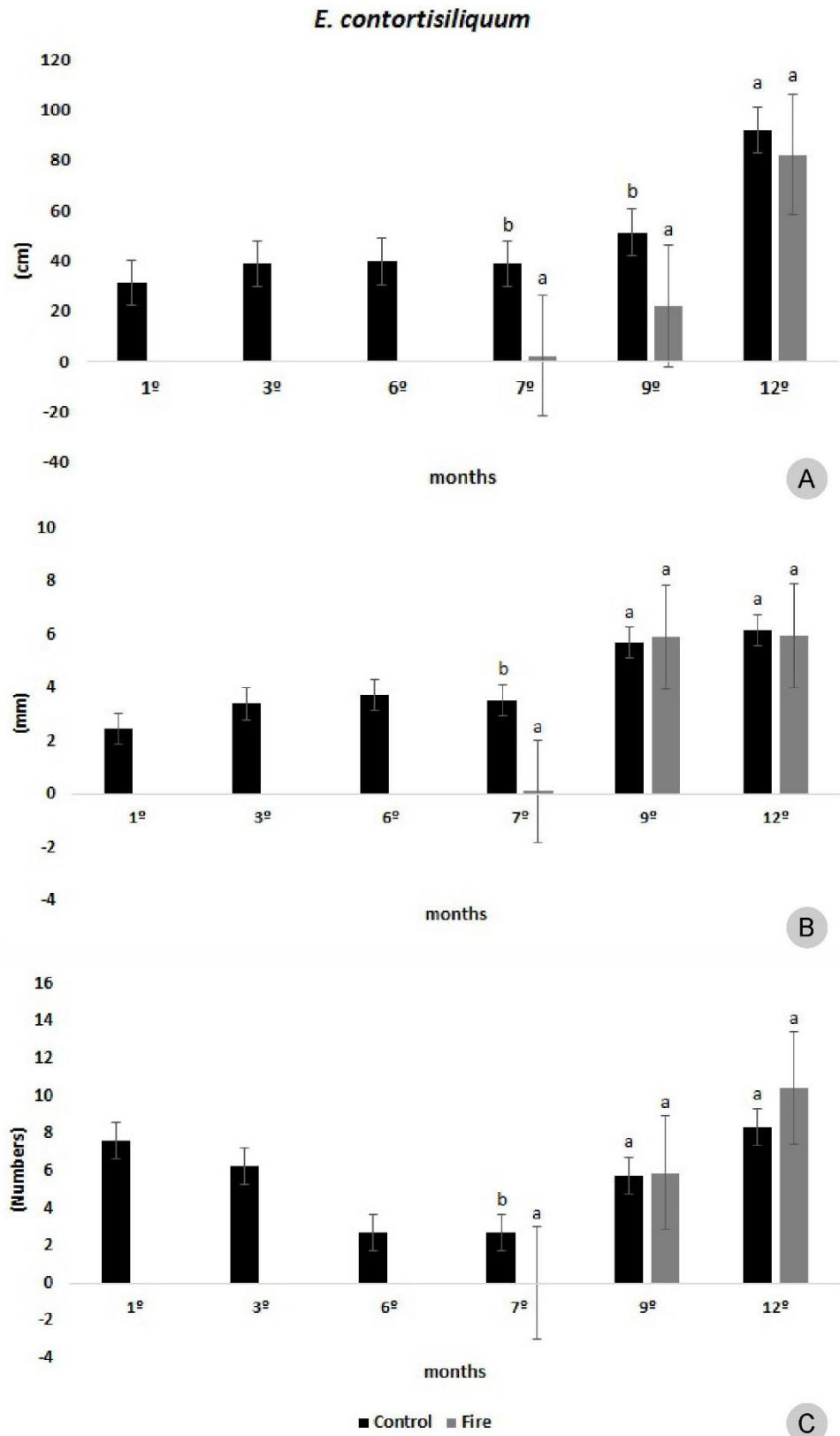


Figura 7. Gráficos de medidas biométricas dos indivíduos controle e que passaram pelo fogo de *Enterolobium contortisiliquum* ao longo dos 12 meses de experimento mostrando: **A.** Taxa de crescimento. **B.** Diâmetro do caule. **C.** Número de folhas. Pelo teste de Turkey resultados sem diferença significativa estão representados por letras iguais “a” e resultados com diferença significativa por letras diferentes “a” e “b”.

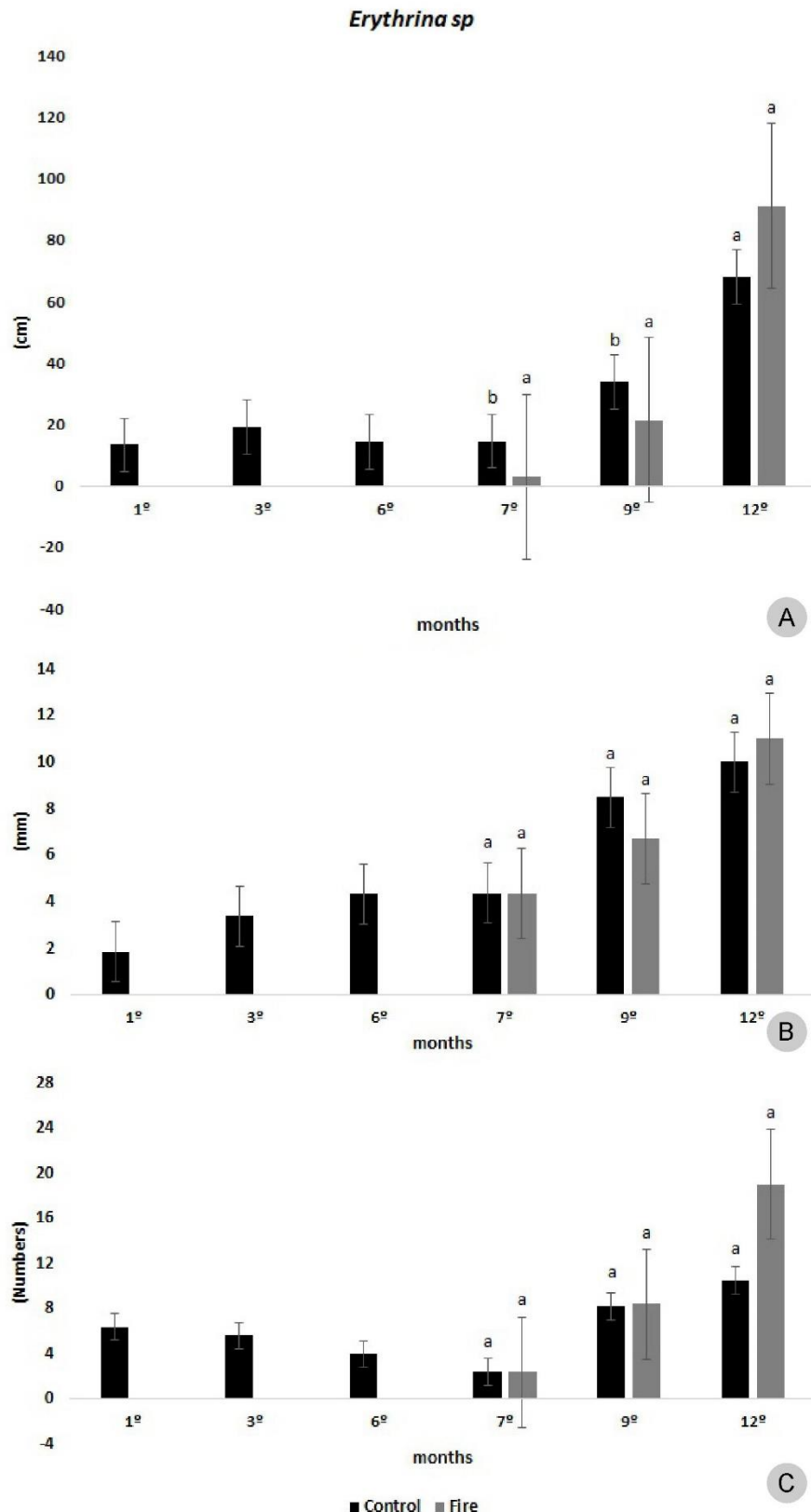


Figura 8. Gráficos de medidas biométricas dos indivíduos controle e que passaram pelo fogo de *Erythrina spp.* ao longo dos 12 meses de experimento mostrando: **A.** Taxa de crescimento. **B.** Diâmetro do caule. **C.** Número de folhas. Pelo teste de Turkey resultados sem diferença significativa estão representados por letras iguais “a” e resultados com diferença significativa por letras diferentes “a” e “b”.

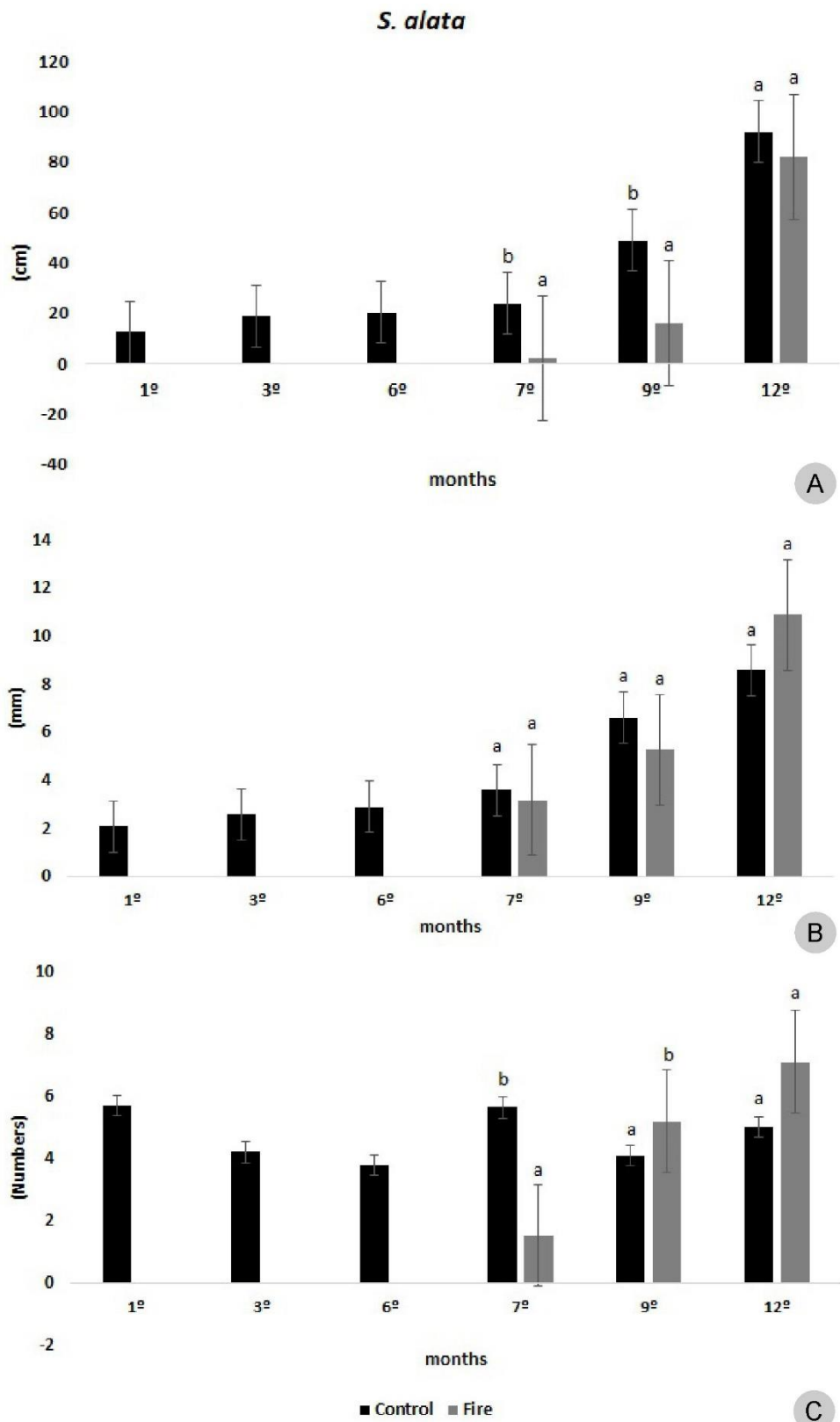


Figura 9. Gráficos de medidas biométricas dos indivíduos controle e que passaram pelo fogo de *Senna alata* ao longo dos 12 meses de experimento mostrando: **A.** Taxa de crescimento. **B.** Diâmetro do caule. **C.** Número de folhas. Pelo teste de Turkey resultados sem diferença significativa estão representados por letras iguais “a” e resultados com diferença significativa por letras diferentes “a” e “b”.

Ao final do experimento em casa de vegetação, aos 12 meses de idade das plantas, as quatro espécies estudadas não apresentavam diferenças estatísticas para nenhum dos traços analisados até esse momento, inferindo que seis meses após a passagem do fogo, os indivíduos de *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* sp. e *S. alata* já haviam recuperado completamente a biomassa aérea após a passagem do fogo.

Para as análises de massa fresca da parte aérea das plantas e massa fresca da raiz, também não houve diferenças significativas entre as plantas que passaram pelo experimento de fogo e controle para nenhuma das quatro espécies estudadas (Figura 10). No entanto, com relação à massa seca da parte aérea de *E. contortisiliquum*, foi constatada uma diferença significativa, tendo os indivíduos controle massa maior que os indivíduos que passaram pelo experimento de fogo (Figura 11). Para todas as outras espécies, a massa seca foi igual para experimento de fogo e controle. Quanto à perda de água, quando comparamos a massa fresca e seca da parte aérea e subterrânea da mesma espécie, é possível observar a redução de cinquenta por cento da massa fresca após a secagem do material, para todas as espécies estudadas.

Apesar do comprimento das raízes ser menor do que o comprimento do caule, para a maioria dos casos observados na Figura 12, a massa seca da raiz se mostra maior do que a massa seca das estruturas aéreas para *A. cearensis*, *E. contortisiliquum* e *Erythrina* sp. (Figura 11). Tais espécies apresentaram raízes tuberosas, e essa característica não é observada para *S. alata* que possui a massa da parte aérea maior que a massa radicular.

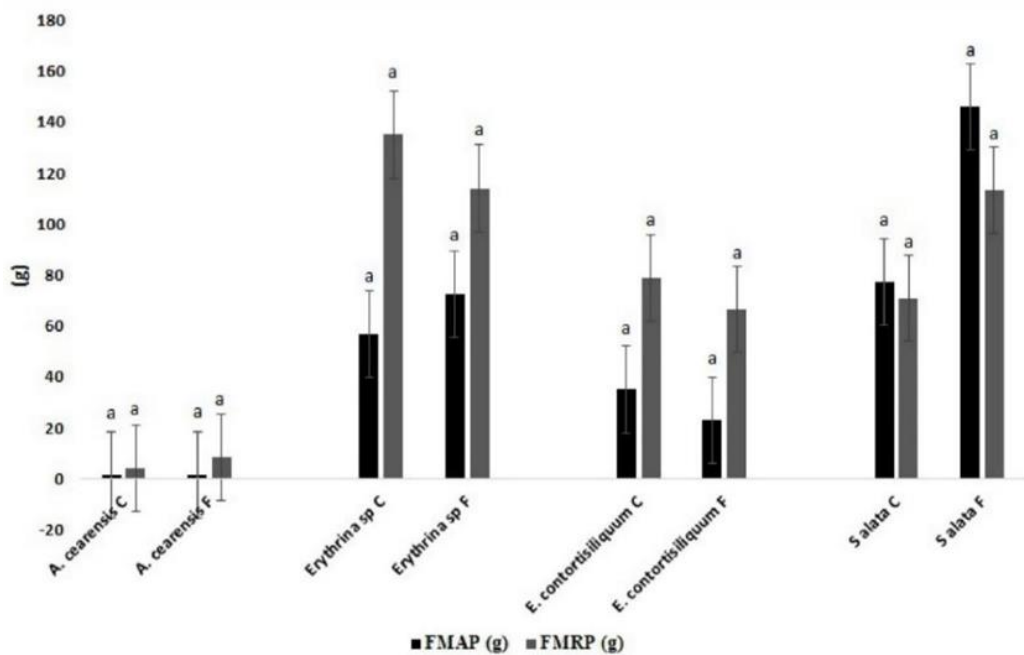


Figura 10. Gráfico de massa fresca das espécies *A. cearensis*, *Erythrina sp.*, *E. contortisiliquum* e *S. alata* com 12 meses, comparando as plantas controle (C) e as que passaram pelo fogo (F). **FMAP** – Massa Fresca da Parte Aérea. **FMRP** – Massa Fresca da Parte Subterrânea. Pelo teste de Turkey resultados sem diferença significativa estão representados por letras iguais “a” e resultados com diferença significativa por letras diferentes “a” e “b”.

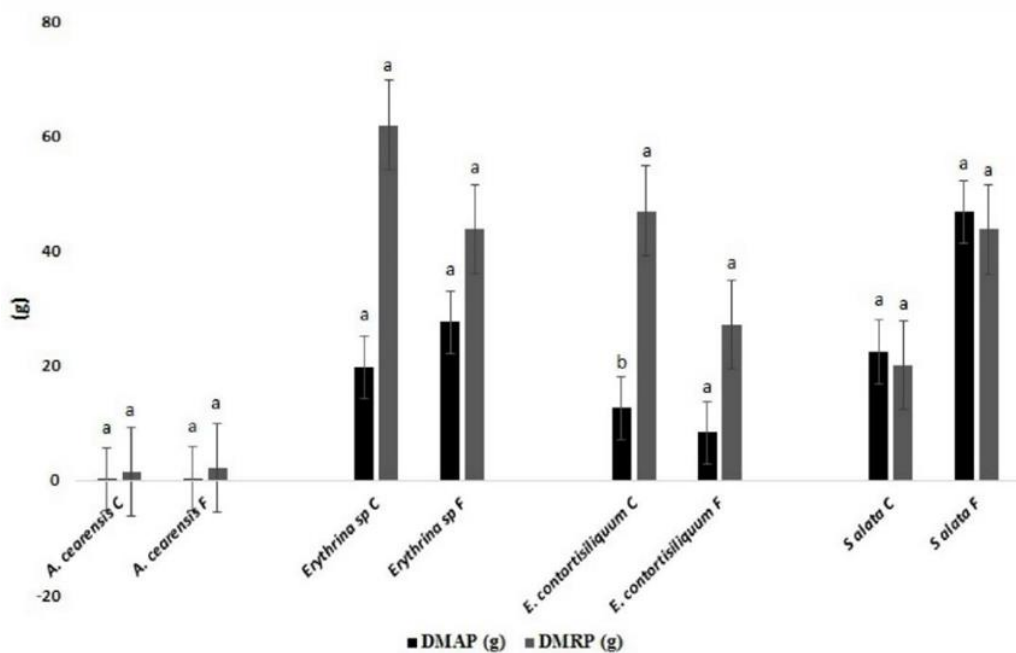


Figura 11. Gráfico de massa seca das espécies *A. cearensis*, *Erythrina sp.*, *E. contortisiliquum* e *S. alata* com 12 meses, comparando as plantas controle (C) e as que passaram pelo fogo (F). **DMAP** – Massa Seca da Parte Aérea. **DMRP** – Massa Seca da Parte Subterrânea. Pelo teste de Turkey resultados sem diferença significativa estão representados por letras iguais “a” e resultados com diferença significativa por letras diferentes “a” e “b”.

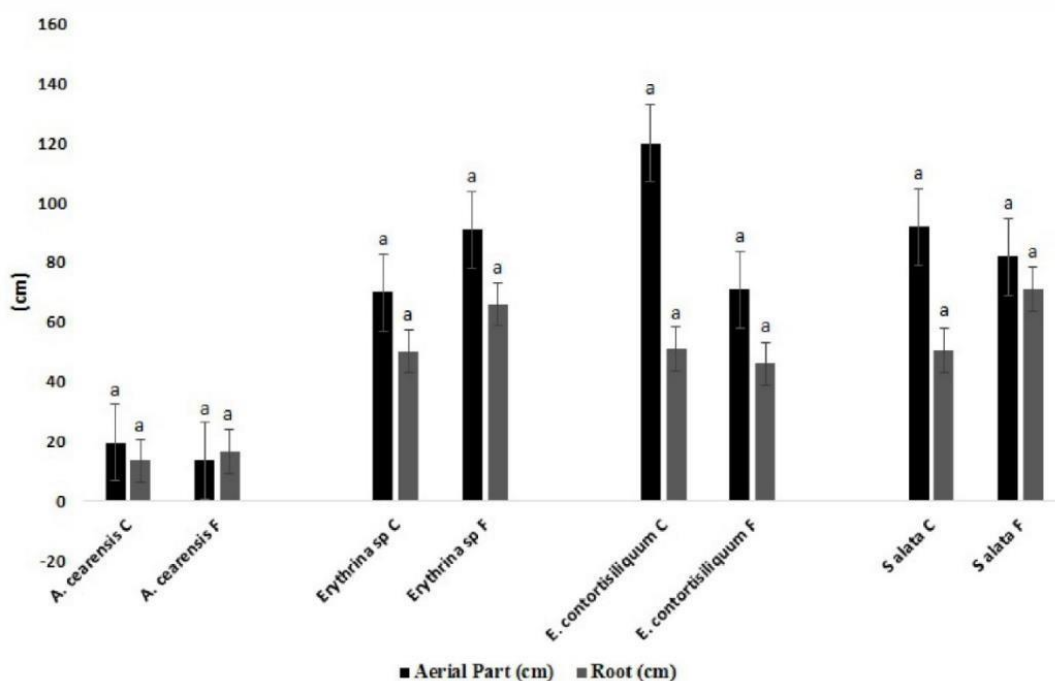


Figura 12. Gráfico de comprimento da parte aérea e das raízes das espécies *A. cearensis*, *Erythrina sp.*, *E. contortisiliquum* e *S. alata* com 12 meses, comparando as plantas controle (C) e as que passaram pelo fogo (F). Pelo teste de Turkey resultados sem diferença significativa estão representados por letras iguais “a” e resultados com diferença significativa por letras diferentes “a” e “b”.

Algumas espécies apresentaram um alto coeficiente de variação para alguns traços analisados (Tabela 7), isso pode estar relacionado com a baixa taxa de rebrotamento de algumas das espécies estudadas (23% no caso da *S. alata* e 43,33%), somada a alta variabilidade fenotípica dessas espécies.

Tabela 7. Tabelas com valor de P e Coeficiente de Variação (%) para os dados de altura da parte aérea, comprimento da raiz, diâmetro do caule, número de folha, massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da parte subterrânea (MFPS), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da parte subterrânea (MSPS).

	<i>A. cearensis</i>		<i>E. contortisiliquum</i>		<i>Erythrina sp.</i>		<i>S. alata</i>	
	Pr > Fc	CV (%)	Pr > Fc	CV (%)	Pr > Fc	CV (%)	Pr > Fc	CV (%)
Altura da parte aérea (cm)	0,29 ^{ns}	36	0,06 ^{ns}	23	0,26 ^{ns}	26	0,68 ^{ns}	30
Comprimento da raiz (cm)	0,72 ^{ns}	61	0,44 ^{ns}	14,7	0,50 ^{ns}	45	0,21 ^{ns}	28,4
Diâmetro do caule (mm)	0,34 ^{ns}	56	0,77 ^{ns}	16,25	0,91 ^{ns}	28	0,24 ^{ns}	22
Número de Folhas	0,98 ^{ns}	25,4	0,11 ^{ns}	13,8	0,09 ^{ns}	34	0,10 ^{ns}	23,16
MFPA (g)	0,89 ^{ns}	10,3	0,07 ^{ns}	21,5	0,65 ^{ns}	62,18	0,13 ^{ns}	41,18
MFPS (g)	0,31 ^{ns}	48	0,57 ^{ns}	34,48	0,74 ^{ns}	46	0,31 ^{ns}	49,5
MSPA (g)	0,65 ^{ns}	85	0,00**	5,24	0,54 ^{ns}	31,57	0,14 ^{ns}	48
MSPS (g)	0,68 ^{ns}	10,4	0,10 ^{ns}	32,6	0,50 ^{ns}	45,9	0,28 ^{ns}	74

Pr (Valor de P) Fc (Teste F). ns- não significativo, * - significativo a 5% e ** significativo a 1% pelo teste de turkey.

DISCUSSÃO

Stryphnodendron adstringens (Mart.) Coville é encontrada mais comumente na região central do país, é uma espécie arbórea endêmica e leva o nome popular de barbatimão (Lima et al, 2020; Souza Junior & Brancalion, 2016). Segundo Souza Junior & Brancalion (2016), a escarificação química da semente em ácido concentrado por 3 min faz com que a germinação ocorra em aproximadamente 15 dias com taxa de 60% a 80%. No presente estudo, apesar de seguirmos essa recomendação para quebra de dormência, tivemos uma taxa germinativa de apenas 41%, com indivíduos germinando até 50 dias após o cultivo. Além disso, *S. adstringens* é uma espécie de crescimento lento (Carlos et al, 2009), com alta taxa de mortalidade em casa de vegetação devido à baixa tolerância relacionada a nutrientes e tipos e proporção de substratos que podem intoxicar as mudas (Carnevali et al, 2016; Queiroz, 2014), explicando a alta taxa de mortalidade dessa espécie neste experimento.

De acordo com o estudo de Abreu et al (2017), a melhor forma de superar a dormência da semente de *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima consiste no despolimento do tegumento na região oposta ao hilo, no entanto, esse tipo de escarificação não teve resultados positivos em nosso trabalho (42%). Para as produções de mudas de *T. vulgaris*, Souza et al (2019) constaram que solo e areia na proporção de 1:1 geram mudas de melhor qualidade e com grande variedade de nódulos.

Para produção das mudas do gênero *Erythrina*, substrato orgânico e a disponibilidade de água influenciam positivamente no desenvolvimento da plântula, aumentando a área e peso das folhas (Oliveira et al. 2017; Martins et al, 2018). Em um estudo de eficiência de regeneração das plântulas de *Erythrina fusca* in vitro, realizado por Luangsriumporn et al (2021), com explantes nodais em diversos meios, ficou verificado que, apesar de a taxa de enraizamento ter sido bastante satisfatória, a taxa de sobrevivência aclimação dessa espécie foi de apenas 30%.

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong, também conhecido como tamboril, é uma espécie arbórea nativa encontrada no Brasil nas regiões Nordeste, Centro- Oeste, Sudeste, Sul e

Nordeste (Morim et al., 2020). Segundo Souza Junior & Brancalion (2016), a quebra de dormência da espécie é feita com escarificação química, no entanto, neste trabalho utilizamos escarificação mecânica com lixa d'água 70 e obtivemos uma taxa germinativa de 92% entre o sétimo e décimo dia de cultivo. A aptidão das sementes de *E. contortisiliquum*, quando expostas à perturbação do ambiente de uma área antropizada, foi testada por Cardoso et al, (2021), que observaram uma queda no percentual de germinação e qualidade nutricional das sementes, impactando diretamente em sua germinação e na qualidade da muda.

Senna alata (L.) Roxb., popularmente conhecida como Fedegoso-gigante, tem a quebra de dormência descrita na literatura como desnecessária com germinação rápida em menos de 15 dias (Souza Junior & Brancalion, 2016), no entanto, usando a escarificação química, pudemos acelerar esse processo, tendo a germinação das nossas sementes (82%) ocorrido em menos de 10 dias.

Amburana cearensis (Allemão) A.C.Sm. é uma espécie nativa que pode ser encontrada nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (Seleme, 2020). A condição ideal de cultivo de *A. cearensis* é em ambiente iluminado com temperatura média entre 25° e 30° C Almeida et al., 2017) em substrato de vermiculita (Ferraz et al., 2020), para aumentar a taxa germinativa e vigor das mudas, a despeito de o nosso experimento atender a essas características, a taxa de germinação foi de apenas 40%.

A capacidade de rebrotar e sobreviver a passagem do fogo que algumas espécies apresentam já foi investigada por outros autores (Fidelis e Zironi, 2021), no entanto os estudos realizados até o momento focaram em espécies não lenhosas (Scalon e Rossato, 2021; Hiers et al, 2021) ou espécies lenhosas adultas (Dantas e Pausas, 2013; Midgley et al, 2010; Hoffmann, 1999), tendo muito pouco sido abordado a respeito da capacidade de sobrevivência ao distúrbio de fogo de indivíduos jovens de espécies lenhosas (Hoffmann et al, 2012).

A capacidade de espécies lenhosas adultas de ambientes savânicos de sobreviver a eventos de fogo se dá por uma série de estratégias, como a espessura da casca três vezes maior do que em espécies florestais (Hoffmann et al, 2012), que age como uma camada de proteção para gemas localizadas na base do caule, além de a localização das gemas, que podem estar em estruturas subterrâneas protegidas do fogo (Charles-Dominique et al, 2015). Para plantas jovens esses traços também demonstraram ser importantes, visto que *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* sp e *S. alata* ainda estavam na linha do fogo aos seis meses de idade e, por isso, passaram por topkill que poderia tê-las matado, não fosse a capacidade dessas de rebrotar de gemas localizadas na base do caule ou em estruturas subterrâneas. Outra característica de espécies lenhosas adultas de savana, que foi observada para as plantas jovens de *A. cearensis*, *E. contortisiliquum* e *Erythrina* sp., é uma maior alocação de massa total nas raízes que, provavelmente, lhes conferiu maior capacidade de rebrotar após o fogo (Hoffmann & Franco, 2003).

T. vulgaris teve apenas um indivíduo que rebrotou após o fogo neste estudo, apesar de ser encontrada no Cerrado *latu senso* (Flora do Brasil, 2020). A baixa taxa de rebrotamento da espécie para indivíduos jovens pode ser explicada devido à origem florestal desta, visto que espécies florestais tendem a ser mais sensíveis a eventos de fogo quando comparadas a espécies savânicas (Delegá, 2017). No entanto, no estudo de Delegá (2017), das 10 plantas de *T. vulgaris* (com mais de 15 cm de diâmetro a altura do solo e 30 cm de altura) presentes nas parcelas, apenas uma morreu após a passagem do fogo, indicando que plantas maduras de *T. vulgaris* apresentam uma maior taxa de sobrevivência a eventos de fogo quando comparadas às plantas jovens. Um dos fatores que pode ter viabilizado a inserção de *T. vulgaris* como uma espécie florestal no Cerrado é a política de não fogo, que possibilita que as espécies florestais se desenvolvam por mais tempo antes de passarem por algum evento de fogo e assim se estabeleçam com mais facilidade em ambientes savânicos como Cerrado, acarretando em uma expansão dos biomas florestais (San José & Fariñas 1991; Geiger et al, 2011).

Duas são as estratégias relacionadas à arquitetura das plantas que as espécies lenhosas presentes nas savanas utilizam para sobreviver ao fogo, são elas: “Lanky”, quando as plantas crescem rapidamente em altura para fugir da zona das chamas antes de um evento de fogo (são plantas esguias que tendem a rebrotar da base do caule) e “Corky” quando as plantas investem energia em proteger as gemas com espessamento da casca o que pode produzir rebrotamento epicórmicos após a passagem do fogo (Gignoux, Clobert & Menaut 1997). Segundo Dantas e Pausas (2013), a primeira estratégia é mais comumente observada em espécies lenhosas afro-tropicais, enquanto o segundo tipo é mais comum em savanas neotropicais como o Cerrado.

No entanto, para as plantas jovens do nosso estudo, a segunda estratégia parece ter ocorrido apenas para *A. cearensis* que, apesar de não apresentar um diâmetro de caule tão grande, foi capaz de rebrotar do caule queimado na altura das gemas axilares, indicando uma proteção dessas gemas. Para *E. contortisiliquum* e *Erythrina* sp. a primeira estratégia parece explicar melhor o rápido crescimento das mudas e dos rebrotes que tiveram origem na base do caule e, por vezes, nas gemas em estruturas localizadas abaixo do solo. *S. alata* no entanto, apresentou uma alta taxa de crescimento, mas também a capacidade de rebrotar de gemas preservadas no caule queimado, indicando a necessidade de mais estudo para entender a estratégia adotada pela espécie para sobreviver ao fogo.

O tempo de resposta das plantas após a passagem do fogo pode variar de horas, como no caso da Cyperaceae *Bulbostylis paradoxa*, que produz botões florais a partir do caudex queimado apenas 24h depois do fogo (Fidelis et al, 2019), e até um ano para espécies arbóreas e arbustivas (Zirondi et al, 2021). No estudo de Gomes et al (2014), que avaliou a dinâmica de rebrota pós fogo de 26 espécies lenhosas adultas, estimou-se a partir do DAP (diâmetro a altura do peito), que os caules hipógeos rebrotados levariam 12 anos para recuperar a biomassa do caule principal morto pelo fogo. No nosso estudo o tempo de reposta variou de um a três meses (tempo que os indivíduos levaram para rebrotar) e a recuperação total (sendo esta a igualdade estatística dos traços avaliados

entre as plantas queimadas e controle) ocorreu seis meses após a passagem do fogo para as quatro espécies jovens avaliadas.

CONCLUSÃO

Concluimos que não apenas as plântulas de espécies lenhosas de Fabaceae do Cerrado (*A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* spp. e *S. alata*) são capazes de rebrotar apenas alguns dias após a passagem do fogo, como estas também se reestabelecem e recuperam altura, diâmetro do caule, número de folhas e massa aérea e subterrânea com apenas seis meses após o experimento de fogo controlado.

REFERÊNCIAS

- Abreu D. C. A. De, Porto K. G. and Nogueira A. C. (2017) Métodos de Superação da Dormência e Substratos para Germinação de Sementes de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H. C. Lima. *Floresta e Ambiente*, [S.L.].
- Alexandre, R. S., Gonçalves, F. G., Rocha, A. P., de Arruda, M. P., & Lemes, E. D. Q. (2009). Tratamentos físicos e químicos na superação de dormência em sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 4(2), 156-159.
- Almeida J. P. N. De, Lessa B. F. Da T., Pinheiro C. L., Gomes F. M., Medeiros Filho S. and Silva, C. C. (2017) Germination and development of *Amburana cearensis* seedlings as influenced by seed weight, light and temperature. *Acta Scientiarum. Agronomy*.
- Bombo A. B., Siebert F., Fidelis A. (2021) Fire and herbivory shape belowground bud banks in a semi-arid African savanna. *African Journal of Range & Forage Science*. 39:16-26, National Inquiry Services Center (NISC).
- Bond W. J. & Keele J. E. (2005). Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, 20: 387-394.
- Bond W.J., Wilgen B.W. van. (1996). *Fire and plants*. London: Chapman & Hall, 263p. (Population and community biology, 14).
- Braga, L. F., Sousa, M. P., Braga, J. F., & Delachiave, M. E. A. (2010). Escarificação ácida, temperatura e luz no processo germinativo de sementes de *Senna alata* (L.) Roxb. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 12, 1-7.
- Buisson, E., S. Le Stradic, F. A. O. Silveira, G. Durigan, G. E. Overbeck, A. Fidelis, G. W. Fernandes, W. J. Bond, J.-M. Hermann, G. Mahy, S. T. Alvarado, N. P. Zaloumis, and J. W. Veldman. (2019). Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. *Biological Reviews*, 94:590–609.
- Carlos L., Venturin N., Macedo R. L. G., Higashikawa E. M., Garcia M. B. & Farias E. D. S. (2009). Teores de nutrientes em mudas de barbatimão. Lavras, XVIII Congresso de pós-graduação da UFLA.
- Carnevali N. H. D. S., Marchetti M. E., Vieira M. D. C., Carnevali T. D. O. & Ramos D. D. (2016). Eficiência nutricional de mudas de *Stryphnodendron polyphyllum* em função de nitrogênio e fósforo. *Ciência Florestal*. 26:449-461.
- Charles-Dominique T., Beckett H., Midgley G. F., Bond W. J. (2015) Bud protection: a key trait for species sorting in a forest–savanna mosaic. *New Phytologist*, 207: 1052-1060.
- Coutinho L.M. (1982) Ecological Effects of Fire in Brazilian Cerrado. In: Huntley B.J., Walker B.H. (eds) *Ecology of Tropical Savannas*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 42. Springer, Berlin, Heidelberg.

- Coutinho L.M. (1990) Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado. In: Goldammer J.G. (eds) Fire in the Tropical Biota. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 84. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dantas V. de L., Pausas J. G. (2013). The lanky and the corky: fire-escape strategies in savanna woody species. *Journal of Ecology*. 101:1265-1272.
- Delegá M. D. Efeito do fogo sobre uma comunidade vegetal de cerrado sentido restrito. (2017). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Uberlândia.
- Ferraz G. X. L., Silva M. A. D. Da, Alves R. M., Freire E., Alves, R. J. R. and Ferraz E. X. L. (2020) Germinação de sementes de *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Sm. submetidas a diferentes substratos. *Research, Society and Development*.
- Fidelis A., Appezzato-da-Glória B. & Pfadenhauer J. (2009). A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. *Campos Sulinos*. 88.
- Fidelis A. & Pivello V. R. (2011). Deve-se Usar o Fogo como Instrumento de Manejo no Cerrado e Campos Sulinos? *Biodiversidade Brasileira*, São Paulo, 1: 12-25.
- Fidelis A., Rosalem P., Zanzarini V., Camargos L. S. & Martins, A. R. (2019). From ashes to flowers. *Ecology*. 10:1-4.
- Fidelis A., Zironi H. L. (2021). And after fire, the Cerrado flowers: a review of post-fire flowering in a tropical savanna. *Flora*. 280:151849.
- Filgueiras T. S. (2002). Herbaceous plant communities. *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*, 121-139.
- Franco A. C. (2002). Ecophysiology of woody plants. *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*, 178-200.
- Furley P. A. (1999) The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. *Global Ecology and Biogeography*, 8: 223-241.
- Geiger E. L., Gotsch S. G., Vale G. D. do, Haridasan M., Franco A. C. & Hoffmann W. A. (2011). Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration following fire suppression in a Brazilian savanna. *J. Veg. Sci.* 22:312– 321.
- Gignoux J., Clobert J. & Menaut J.-C. (1997) Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia*. 110:576–583.
- Gomes L., Maracahipes L., Marimon B. S., Reis S. M., Elias F., Maracahipes-Santos L., Marimon-Junior B. H. & Lenza, E. (2014). Post-fire recovery of savanna vegetation from rocky outcrops. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 209:201-208.
- Hiers Q. A., Treadwell M. L.; Dickinson M. B.; Kavanagh K. L., Lodge, A. G., Starns H. D., Tolleson D. R.; Twidwell D., Wonkka C. L., Rogers W. E. (2021). Grass bud responses to fire in a semiarid savanna system. *Ecology and Evolution*. 11:6620-6633.

- Hoffmann W. A. (1999). Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical Savanna: matrix model projections. *Ecology*. 80:1354-1369.
- Hoffmann W. A. & Moreira A. G. (2002). The role of fire in population dynamics of woody plants. The Cerrados of Brazil. *Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 159-177.
- Hoffmann W. A. & Franco A. C. (2003). Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *Journal of Ecology*, 91(3), 475-484.
- Hoffmann, W. A., Geiger, E. L., Gotsch, S. G., Rossatto, D. R., Silva, L. C., Lau, O. L., Haridasan, M. and Franco, A. C. (2012), Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters*, 15: 759-768.
- Lamont B. B. & He T. (2017). Fire-proneness as a prerequisite for the evolution of fire-adapted traits. *Trends in plant science*, 22: 278-288.
- Legume Phylogeny Working Group (LPWG). (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *Taxon*, 66: 44-77.
- Lima A.G., Souza V.C., Paula-Souza J. and Scalon V.R. (2020). *Stryphnodendron* in **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Lima E. D. S., Lima H. S. & Ratter, J. A. (2017). After fire changes in the structure and composition of the woody vegetation of a mesotrophic Cerrado over a five-year period (1997-2002) in Nova Xavantina, MT, Brazil. *Cerne*, Lavras, 15: 468-480.
- Luangsriumporn P., Bodhipadma K., Noichinda S., Punnakanta L. and Leung D. W. M. (2021) Requirements for efficient plantlet regeneration using cotyledonary nodal explants of purple coral tree (*Erythrina fusca* Lour.). *Vegetos*, [S.L.].
- Matheus, M. T., Guimarães, R. M., Bacelar, M., & Oliveira, S. A. D. S. (2010). Superação da dormência em sementes de duas espécies de *Erythrina*. *Revista Caatinga*, 23(3), 48-53.
- Matt Davies G. (2013). Understanding fire regimes and the ecological effects of fire. *Fire phenomena and the Earth system: an interdisciplinary guide to fire science*, 95-124.
- Martins, C. C., Camara, A. T. R. D., Machado, C. G., & Nakagawa, J. (2008). Métodos de superação de dormência de sementes de barbatimão. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30, 381-385.
- Martins K., Brito P.O.B. de, Arruda J.F. de, Nunes Júnior F.H., Pontes Filho R.A. and Gondim F.A. (2018) Plant growth, antioxidative enzymes, lipid peroxidation and organic solute contents in mulungu seedlings (*Erythrina velutina*) under different field capacities. *Canadian Center Of Science And Education*, Toronto

- Mendonça-Torres D., Fontes M. A. L., & Samsonas H P. (2017). Relações solo-vegetação na estruturação de comunidades de cerrado sensu stricto no sul de Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 68: 115-128.
- Midgley J. J., Lawes M. J., Chamaillé-Jammes S. (2010). Savanna woody plant dynamics: the role of fire and herbivory, separately and synergistically. *Australian Journal of Botany*. 58:1.
- Miranda H. S., Bustamante M. M., Miranda A. C., Oliveira P. & Marquis R. (2002). The fire factor. *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 51-68.
- Morim M.P., Mesquita A.L. and Bonadeu F. (2020). *Enterolobium* in **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Oliveira C. P., Francelino M. R., Cysneiros V. C., Andrade, F.C. & Booth, M. C. (2015). Composição florística e estrutura de um cerrado sensu stricto no oeste da Bahia. *Cerne*, 21: 545-552.
- Oliveira Filho A. T. & Ratter J. A. (2002). Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*, 91-120.
- Oliveira Filho J. R. C. (2017). Fitossociologia e instalação de parcelas permanentes em cerrados localizados no campus Ipameri. In *Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE) (ISSN 2447-8687) (Vol. 3)*.
- Oliveira M. K. T. de; Dombroski J. L. D. and Fernandes A. L. M. (2017) Growth rates of *Erythrina velutina* seedlings produced on organic-mineral substrates. *Nature And Conservation, Brazil*
- Paula A., Martins F. Q., Batalha M. A. P. L., Rodrigues R. & Manhães M. A. (2015). Riqueza, diversidade e composição florística em áreas de cerrado em regeneração e preservado na estação ecológica de Itirapina-SP. *Ciência Florestal*, 25: 231-238.
- Pausas J. G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic change*, 63: 337-350.
- Pausas J. G. & Keeley J. E. (2009). A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, 59: 593-601.
- Pausas J.G., Lamont B.B., Paula S., Appezzato-da-Glória B. & Fidelis A. (2018) Unearthing belowground bud banks in fire prone ecosystems. *New Phytologist*, 217: 1435-1448.
- Queiroz I. R. (2014). Produção de mudas de barbatimão [*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville] em substrato contendo lodo de esgoto.

- Rissi M. N., Baeza M. J., Gorgone-Barbosa E., Zupo T., Fidelis A. (2017). Does season affect fire behaviour in the Cerrado? *International Journal of Wildland Fire*, 26: 427-433.
- Salomão, A. N. (2003). *Germinação de sementes e produção de mudas de plantas do Cerrado*. Rede de sementes do Cerrado.
- San José J. J. & Fariñas M. R. (1991). Temporal changes in the structure of a *Trachypogon* savanna protected for 25 years. *Acta Oecol.* 12:237– 247
- Santos, L. W. d, Coelho, M. D. F. B., Maia, S. S. S., da Silva, R. C. P., dos Santos Cândido, W., & da Silva, A. C. (2013). Armazenamento e métodos para a superação da dormência de sementes de mulungu. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(1), 171-177.
- Scalon M. C., Rossatto D. R. (2021). Ground layer Cerrado plants sustain higher maximum photosynthetic rates after medium-term fire events. *Flora*. 285:151962.
- Seleme E.P. (2020). *Amburana in Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Silva G. O. & Souza P. B. (2017). Fitossociologia e estrutura diamétrica de um fragmento de cerrado sensu stricto, Gurupi-To. *Desafios*, 3: 22-29.
- Simon M. F., Grether R., Queiroz L. P., Skema C., Pennington R. T. & Hughes C. E. (2009). Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 20359-20364.
- Souza J. C. De, Pedrozo C. Â., Silva K. Da, Oliveira V. X. A. and Alencar A. M. Da S. (2019) Ambientes para a produção de mudas e nodulação por rizóbios em *Tachigali vulgaris*. *Ciência Florestal*, [S.L.].
- Souza Junior C. N. & Brancalion, P. H. S. (2016) **Sementes & Mudanças**: guia para propagação de árvores brasileiras. São Paulo: Oficina de Textos.
- Zirondi H. L., Ooi M. K. & Fidelis A. (2021). Fire-triggered flowering is the dominant post-fire strategy in a tropical savanna. *Journal of Vegetation Science*. 32:e12995.
- Whelan R. J. (1995). *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press.

Capítulo II: Análise de grau e proteção de gemas e plasticidade na arquitetura de leguminosas (Fabaceae) jovens do cerrado relacionadas ao fogo

INTRODUÇÃO

As plantas têm grande parte de seus órgãos vegetativos aéreos consumidos pelo fogo todos os anos ao redor de todo o mundo, no entanto, a maioria se recupera com sucesso dos impactos desse distúrbio (Midgley & Bond 2011), isso só é possível devido a um conjunto de células meristemáticas conhecida como gemas, que se localizam em estruturas subterrâneas ou em caules aéreos protegidos por cascas (Charles-Dominique et al. 2015). Estas estruturas apresentam uma diversidade de características que viabilizam a sobrevivência das espécies no ecossistema (Clarke et al 2013).

No Cerrado, boa parte das espécies caracterizam-se por possuir grande capacidade gemífera, que permite a esses indivíduos rebrotarem após a passagem do fogo (Bombo et al. 2022; Chiminazzo et al., 2021; Silva et al., 2021), assim possibilitando a persistência dessas espécies no ambiente. Este tipo de estratégia denota uma alta resiliência do Cerrado ao fogo (Coutinho 1982), visto que estes sistemas se regeneram com rapidez após a passagem do fogo (Buisson et al. 2019). Essa regeneração se dá através de banco de gemas que, segundo Klimešová & Klimeš (2007), é composto por todas as gemas que apresentam potencial de regeneração vegetativa, abrangendo até mesmo aquelas formadas adventiciamente e somente após uma lesão.

Assim sendo, este banco de gemas presente no Cerrado tem uma grande importância na regeneração pós-fogo deste ecossistema (Pausas et al. 2018). A localização das gemas abaixo da casca, para a maioria das espécies arbóreas, confere proteção das gemas e a capacidade dessas espécies de persistir à passagem do fogo (Burrows et al. 2010; Charles-Dominique et al. 2015). Ainda, algumas plantas possuem gemas em órgãos subterrâneos, que podem ser lignificados e espessos, e apresentar reservas energéticas, como carboidratos, para possibilitar o rebrotamento (Rizzini & Heringer 1961; Appezzato-da-Glória & Estelita 2000; Verdaguer & Ojeda 2002; Pausas et al. 2018).

Fabaceae é uma das famílias botânicas que apresenta espécies com adaptações subterrâneas relacionadas ao fogo (LPWG 2013). Suas espécies apresentam distribuição cosmopolita e diversidade morfológica, fisiológica e ambiental, incluindo muitas vezes o sistema subterrâneo especializado ao fogo como xilopódios, rizomas e raízes gemíferas (Fidelis et al. 2009; Simon et al. 2009).

Os estudos anatômicos e morfológicos possuem caráter exploratório, o que permite uma visão ampla e contextualizada das estruturas estudadas. Este tipo de abordagem permite o entendimento de respostas adaptativas aos estímulos, o que contribui para o conhecimento e identificação das estruturas, a natureza de cada sistema e sua função na sobrevivência de cada espécie frente a fatores como o fogo (Apezzato-da-Glória 2015; Arens 1958; Ceccantini & Gusselia 2001; Morretes & Ferri 1959; Morretes 1966; Sultan 2000).

Este capítulo tem como objetivo averiguar possíveis modificações na arquitetura das plantas em decorrência do fogo e analisar morfológicamente as estruturas responsáveis pelo rebrotamento nas espécies arbóreas jovens de Fabaceae, a fim de contribuir para o entendimento da dinâmica e proteção das gemas em espécies arbóreas de ambiente inflamáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Material botânico

Para realização do estudo foram selecionadas seis espécies da família Fabaceae que ocorrem no Cerrado (Tabela 1). As sementes foram adquiridas através da Associação “Rede de sementes do Cerrado” (*Amburana cearensis*, *Stryphnodendron adstringens*, *Tachigali vulgaris*, *Senna alata* e *Enterolobium contortisiliquum*) e da empresa Caiçara (espécie não identificada do gênero *Erythrina*).

Tabela 1: Espécies de Fabaceae selecionadas para estudo (Flora do Brasil, 2020).

Espécie	Nome popular	Tipo de vegetação
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	Amburana	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Tamboril da mata	Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial)
<i>Erythrina</i> sp.	-	-
<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	Fedegosão	Caatinga (stricto sensu), Campo Limpo, Cerrado (lato sensu), Floresta de Terra Firme, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista, Restinga
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Barbatimão	Campo Rupestre, Cerrado (lato sensu)
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	Carvoeiro	Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Savana Amazônica

Desenho experimental

Os indivíduos foram cultivados em casa de vegetação até atingirem a idade de seis meses. Quando as plantas atingiram a idade juvenil foram submetidas a experimentos de queima conduzido na FEPE – “Pomar” (Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – UNESP – Ilha Solteira-SP).

Ao final dos seis meses, cinco indivíduos de cada espécie foram coletados antes da realização do experimento. Esses indivíduos foram cortados longitudinalmente com ajuda de navalha nas regiões do colo da planta e das cicatrizes dos cotilédones. Essas regiões foram observadas e fotografadas com auxílio de lupa com câmera acoplada (Lupa Leica Ez4W e programa Las EZ) a fim de averiguar a presença e o grau de proteção de gemas (Charles-Dominique et al, 2015). As imagens obtidas foram utilizadas para realização da medida da espessura da casca com auxílio do programa Digimizer e as médias de espessura das cascas foram organizadas em tabelas.

As plantas que permaneceram em casa de vegetação foram agrupadas em 3 parcelas de forma totalmente aleatória, diante do número total de indivíduos obtidos por cada espécie. Os

indivíduos de cada espécie foram distribuídos aleatoriamente mantendo-se 1m de distância entre eles em campo nas três parcelas (22 x 22m). As mudas foram mantidas em seus tubetes e enterradas rentes ao solo, expondo a parte aérea das plantas jovens. A quantidade de material combustível foi calculada para representar a quantidade normalmente encontrada em áreas de Cerrado (400 e 600 g/m²), segundo o estudo de Rissi et al. (2017).

O experimento de fogo foi conduzido no dia 02 de julho de 2021, com início às 15:40h, a umidade relativa do ar era de aproximadamente 35%, com a temperatura média do ar próxima a 30°C, e velocidade do vento de 2,5 a 3 km/h e com 0 mm de precipitação. As parcelas foram queimadas separadamente a fim de manter a independência entre as réplicas. As plantas foram reconduzidas para casa de vegetação por mais seis meses, a fim de verificar sua capacidade de sobrevivência e/ou rebrote após o distúrbio. A contagem de rebrotes foi realizada a cada dois dias no primeiro mês e uma vez por semana após esse tempo.

Descrição de amostragem de gemas

Para os indivíduos coletados com seis meses foi conferida a presença ou ausência de gemas. Quando presentes foi observado o grau de proteção de gemas segundo o trabalho de Charles-Dominique et al. (2015), no qual a partir de critérios qualitativos as espécies foram classificadas: 0 para gemas na superfície da casca; 1 Para gemas emergindo da superfície do caule, mas com o meristema sob a superfície da casca; 2 Para gemas na base de depressões profundas, mas não recobertas pela casca; 3 Para gemas completamente recobertas por casca ou com cordão de meristema recoberto por casca. Além dessa classificação, também determinamos se essas gemas estavam abaixo do solo ou acima desse, relacionando a origem do cotilédone (epígeo ou hipógeo).

RESULTADOS

Morfologia das plântulas

As espécies *A. cearenses* e *Erythrina* spp. apresentam germinação do tipo hipógea (Figura A 1 e 3), enquanto *E. contortisiliquum*, *S. alata*, *S. adstringens*. e *T. vulgaris* apresentam germinação do tipo epígea (Figuras A 2, 4, 5 e 6). Todas as espécies apresentam folhas incompletas (pecioladas), compostas e com venação peninérvea.

As plântulas de *A. cearenses* têm folíolos com consistência coriácea, superfície pilosa, formato elíptico com bordo inteiro, ápice e base obtusa. As folhas podem se apresentar paripinadas e imparipinadas no mesmo indivíduo. A filotaxia é alterna espiralada e o número de folíolos observado foi de 3 a 4 pares (Figura 1 B). Ao final do experimento o caule apresentou uma espessura média de 1,6 mm e a altura da planta 19,55 cm para as plantas do controle e de espessura média 2,6 mm e altura 13,63 cm para as plantas queimadas. Os rebrotamentos ocorreram variando das gemas axilares e de gemas localizadas na base do caule, entre o 21º e 54º dias após a passagem do fogo (Figura 1 C).

Quanto à raiz de *A. cearenses* é possível observar uma raiz pivotante com raízes laterais de coloração alaranjada, a raiz principal já apresenta intumescência nas plantas com seis meses de idade, provavelmente como uma forma de acumular substâncias de reserva (Figura 1 D). As plantas do controle apresentaram uma média de comprimento de raiz 13,57 cm, enquanto a média para as plantas que passaram pelo experimento de fogo foi de 16,45 cm (Figura 1 E e F). Em nenhuma idade foi observado a presença de nódulos.



Figura 1. Desenvolvimento das plântulas e plantas de *Amburana cearensis* até 12 meses de idade. **A.** Indivíduo com uma semana de idade, evidenciando a presença de cotilédones e germinação hipógea. **B.** Plântula de 3 meses de idade, após a segunda coleta de dados. **C.** Rebrota com origem na gema axilar 23 dias após da passagem do fogo. **D.** Controle com seis meses de idade (antes da passagem do fogo). **E.** Planta controle e **F.** planta queimada, ambas com 12 meses de idade.

As folhas de *Enterolobium contortisiliquum* são bipinadas e alternas espiraladas, com número de folíolos variando entre três e quatro pares, os folíolos têm formato lanceolado com bordo inteiro, ápice cuspidado e base oblíqua. O eofilo parece se diferenciar das demais folhas apenas no número de folíolos que, na maioria das vezes, varia de três a quatro (Figura 2 B). Os rebrotamentos ocorreram em gemas na base do caule, entre o 15º e 78º dias após a passagem do fogo, no entanto o maior número de rebrote ocorreu após o 39º dia depois do experimento (Figura 2 C).

E. contortisiliquum, aos 12 meses de idade possui a média do diâmetro da base do caule de 6,13 mm para plantas controle e 5,89 mm para plantas que passaram pelo fogo, além disso tem como característica marcante a presença de lenticelas. A raiz apresenta nódulos, é pivotante e começa a entumecer com seis meses de idade (Figura 2 D), característica que fica mais evidente nas mudas de um ano de idade (Figura 2 E – F), ainda assim, ao ser cortada possui uma textura macia e libera látex.

Com apenas um mês, os indivíduos de *Erythrina* spp. apresentavam eofilos e protofilos do tipo simples, enquanto as folhas subsequentes se apresentaram compostas trifolioladas (Figura 3 B). Os folíolos presentes nas plântulas de 6 meses de idade possuem formato ovado, com ápice acuminado, base acuneada, bordo inteiro e as folhas apresentam filotaxia alterna espiralada e se mantêm assim até a idade de um ano (Figura 3 D). As folhas apresentaram consistência coriácea com superfície glabra. Os rebrotamentos ocorreram de gemas localizadas em estruturas abaixo do solo, entre o 13º e 54º dias após a passagem do fogo (Figura 3 C).

O caule de *Erythrina* spp. aos 12 meses é cilíndrico, com espessura média de 10,72 mm para as plantas controle e 11 mm para as plantas que passaram pelo fogo, apresenta uma quantidade moderada de espinhos, ao serem cortados foi possível observar que eram ocos e não apresentavam grande rigidez. A raiz é pivotante, possui nodulação e apresenta intumescência que já é bastante evidente aos seis meses de idade, (Figura 3 D – F).



Figura 2. Desenvolvimento das plântulas e plantas de *E. contortisiliquum* até 12 meses de idade. **A.** Indivíduo com uma semana de idade, evidenciando a presença de cotilédones e germinação epígea. **B.** Plântula de 3 meses de idade, após a segunda coleta de dados. **C.** Rebrotas com origem na base do caule 39 dias após da passagem do fogo. **D.** Controle com seis meses de idade (antes da passagem do fogo). **E.** Planta controle e **F.** planta queimada, ambas com 12 meses de idade.



Figura 3. Desenvolvimento das plântulas e plantas de *Erythrina* sp. até 12 meses de idade. **A.** Indivíduo com uma semana de idade, evidenciando a presença de cotilédones e germinação hipógea. **B.** Plântula de 3 meses de idade, após a segunda coleta de dados. **C.** Rebrotas com origem subterrânea 15 dias após da passagem do fogo. **D.** Controle com seis meses de idade (antes da passagem do fogo). **E.** Planta controle e **F.** planta queimada, ambas com 12 meses de idade.

As folhas de *Senna alata* são paripinadas e a filotaxia é alterna espiralada. Os folíolos são obovados com base oblíqua, ápice obtuso, bordo inteiro, com consistência coriácea e superfície pilosa, tanto para as mudas com um mês, quanto para as mudas de 12 meses de idade ao final do experimento (Figura 4 B e E). A raiz de *Senna alata* é pivotante com grande quantidade de raízes laterais de coloração escura, não foi observado sinal de intumescência ou a presença de nódulos (Figura 4 D - F). O caule é cilíndrico e apresenta bastante rigidez já nas mudas com seis meses idade, ficando ainda mais rígido nas plantas de um ano. Os rebrotamentos ocorreram de gemas axilares do caule queimado e gemas na base do caule, entre o 9º e 27º dias após a passagem do fogo (Figura 4 C).

Quanto a *Stryphnodendron adstringens*, as folhas são bipinadas e apresentam filotaxia alterna espiralada para as mudas até um ano de idade. O formato do foliólulo é elíptico, com bordo inteiro, ápice e base obtuso, consistência coriácea e superfície pilosa (Figura 5 B e C). Para *S. adstringens* foi observado eofilo com diferenciação em relação às folhas subsequentes. O caule é cilíndrico e a raiz é pivotante sem a presença de nodulação (Figura 5 C e D). *S. adstringens* apresentou uma taxa baixíssima de rebrotamento (apenas dois indivíduos rebrotaram) e 0% de sobrevivência desses rebrotamentos, mesmo os indivíduos controle tiveram uma taxa de mortalidade de mais de 93%.

Tachigali vulgaris apresenta eofilo composto, paripinado semelhante as folhas que o sucedem, com folíolos de consistência coriácea e superfície pilosa. A forma do folíolo é elíptica, com base cordada, ápice acuminado, bordo inteiro e filotaxia alterna espiralada (Figura 6 B). Os rebrotamentos ocorreram variando de gemas localizadas em estruturas abaixo do solo, na base do caule e de gemas axilares, entre o 29º e 87º dias após a passagem do fogo (Figura 6 C). Quanto ao caule de *T. vulgaris*, descrevemos como cilíndrico, sem grande espessamento mesmo para as mudas de um ano, que ainda apresentavam caule bastante flexível. Foi observado raiz pivotante e raízes laterais sem sinal de intumescimento para as mudas de qualquer idade, no entanto foi observada a presença de nódulos (Figura 6 D - F).



Figura 4. Desenvolvimento das plântulas e plantas de *S. alata* até 12 meses de idade. **A.** Indivíduo com uma semana de idade, evidenciando a presença de cotilédones e germinação epígea. **B.** Plântula de 3 meses de idade, após a segunda coleta de dados. **C.** Rebrota com origem subterrânea nove dias após da passagem do fogo. **D.** Controle com seis meses de idade (antes da passagem do fogo). **E.** Planta controle e **F.** planta queimada, ambas com 12 meses de idade.



Figura 5. Desenvolvimento das plântulas de *Stryphnodendron adstringens* até seis meses de idade. **A.** *S. adstringens* com uma semana de idade, evidenciando a presença de cotilédones e germinação epígea. **B.** Plântula com 3 meses de idade, após a segunda coleta de dados. **C.** Controle com seis meses de idade (antes da passagem do fogo). **D.** As 3 bandejas contendo as mudas de *S. astringens* com idade aproximada de 1 mês, antes da primeira coleta de dados.



Figura 6. Desenvolvimento das plântulas e plantas de *Tachigali vulgaris* até 12 meses de idade. **A.** Indivíduo com uma semana de idade, evidenciando a presença de cotilédones e germinação epígea. **B.** Plântula de 3 meses de idade, após a segunda coleta de dados. **C.** Rebrota com origem subterrânea 78 dias após da passagem do fogo. **D.** Controle com seis meses de idade (antes da passagem do fogo). **E.** Planta controle e **F.** planta queimada, ambas com 12 meses de idade.

Grau de proteção de gemas

Das seis espécies estudadas, em apenas uma não pode ser observada presença de gemas na região da cicatriz cotiledonar. Quanto as outras cinco, duas apresentaram gemas na superfície da casca no caule, duas apresentaram gemas na superfície do caule, mas com meristema sob a superfície da casca e uma apresentou gemas na base de depressões profundas, mas não recobertas pela casca (Figura 7). Nenhuma das seis espécies estudadas apresentou grau 3 de proteção de gemas aos seis meses de idade (Tabela 2).

Tabela 2. Dados sobre presença de gemas na base do caule, grau de proteção de gemas e espessura da casca das plantas aos seis meses de idade e taxa de rebrote das leguminosas após a passagem do fogo.

Espécies	Presença de gemas	Grau de proteção de gemas	Tipo de germinação	Espessura da casca (μm)	Taxa de rebrotamento (%)
<i>Amburana cearensis</i> .	Sim	1	hipógea	690,9	43,3
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Não	-	epígea	710,4	71,4
<i>Erythrina</i> spp.	Sim	2	hipógea	1108,3	72,2
<i>Senna alata</i>	Sim	0	epígea	473,5	23
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	Sim	0	epígea	139,3	13,3
<i>Tachigali vulgaris</i>	Sim	1	epígea	323,5	11,9

Enterolobium contortisiliquum não apresenta gemas desenvolvidas aos seis meses de idade (Figura 7 B), possui taxa de 71,42% de rebrote que levou em média 54 dias, o que pode indicar que esta apresenta gemas induzidas pelo fogo como uma estratégia de sobrevivência, além disso tem a espessura da casca de 710,49 μm e seus rebentos ocorrem na base do caule abaixo da gema cotiledonar, a aproximadamente 2cm de altura.

Quanto às espécies que apresentaram gemas aos seis meses de idade, *Senna alata* e *Stryphnodendron adstringens* (Figuras 7 D e E, respectivamente) fazem parte do grupo de espécies que apresentam grau 0 de proteção de gemas, neste grupo a taxa de rebrote foi inferior a 25% (Tabela 2). Para *S. alata*, apesar da espessura da casca de 473,56 μm as gemas presentes nas plantas aos seis meses estavam expostas, o que implica em muitas destas gemas provavelmente terem sido

carbonizadas durante o experimento, explicando a taxa de rebrote de 23%. Quanto a *S. adstringens* que possui tricomas protegendo suas gemas, a altura do rebrotamento foi de 4,5 cm acima do nível do solo, com aproximadamente 41 dias após o fogo (Tabela 3). Apesar de *S. adstringens* ter uma taxa de rebrote de 13,33% esta apresentou a taxa de mortalidade das rebrotas em 100%, então as gemas protegidas apenas por tricomas, presentes nas plântulas de seis meses sobrevivem ao fogo, mas suas rebrotas não são capazes de prosperar após eventos de fogo.

Tabela 3. Dados sobre o tempo médio de rebrote em dias após a passagem do fogo, número médio de rebentos, altura média dos rebrotes em relação ao solo e região do corpo da planta onde ocorreram rebrotes nas leguminosas arbóreas após o fogo.

Espécies	Tempo de rebrotamento (dias)	Quantidade de rebentos	Altura do Rebento (cm)	Parte do corpo da planta
<i>Amburana cearensis</i> .	30,9	1	6,8	Bc, Ga e Gap
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	53,9	2,3	2	Bc
<i>Erythrina</i> spp.	32,5	1,2	0,5	Bc e Sub
<i>Senna alata</i>	16,9	1,8	1,7	Bc e Ga
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	41,5	1	4,5	Bc e Ga
<i>Tachigali vulgaris</i>	69	1,5	1,9	Bc e Ga

Bc – Base do caule; **Ga** – Gema axilar; **Gap** – Gema apical caulinar; **Sub** – parte do corpo da planta abaixo do solo.

Amburana cearensis (Figura 7 A) e *Tachigali vulgaris* (Figura 7 F) compõem o grupo de espécies com grau 1 de proteção de gemas, ambas apresentaram menos de 50% de taxa de rebrotamento após a passagem do fogo. *Amburana cearensis* possui a espessura média de 690,99 µm de casca, apresentou 43,33% dos indivíduos rebrotando aproximadamente 30 dias após a passagem do fogo. Foi a única espécie entre as 6 estudadas que teve rebrotes na região da gema apical caulinar, além disso, *A. cearensis* apresenta raízes tuberosas, o que provavelmente está relacionado com armazenamento de substâncias de reserva que auxiliariam na rebrota. *T. vulgaris* teve rebrotes da base do caule, com altura média de 1,95 cm acima do solo e apesar de essa apresentar gemas parcialmente protegidas pela casca e recobertas de tricomas glandulares e tectores, a taxa de sobrevivência foi de apenas 11,9%, a menor taxa de rebrote entre as espécies estudadas (Figura 7).

A espécie mais bem-sucedida em rebrotar após o distúrbio foi a *Erythrina* spp. com taxa de 72,22% de rebrotamento. Além de apresentar a casca mais espessa entre as plantas estudadas, com 1108,39 μm de espessura, estas rebrotam da base do caule e da região subterrânea do corpo da planta em média 32 dias após a passagem do fogo.

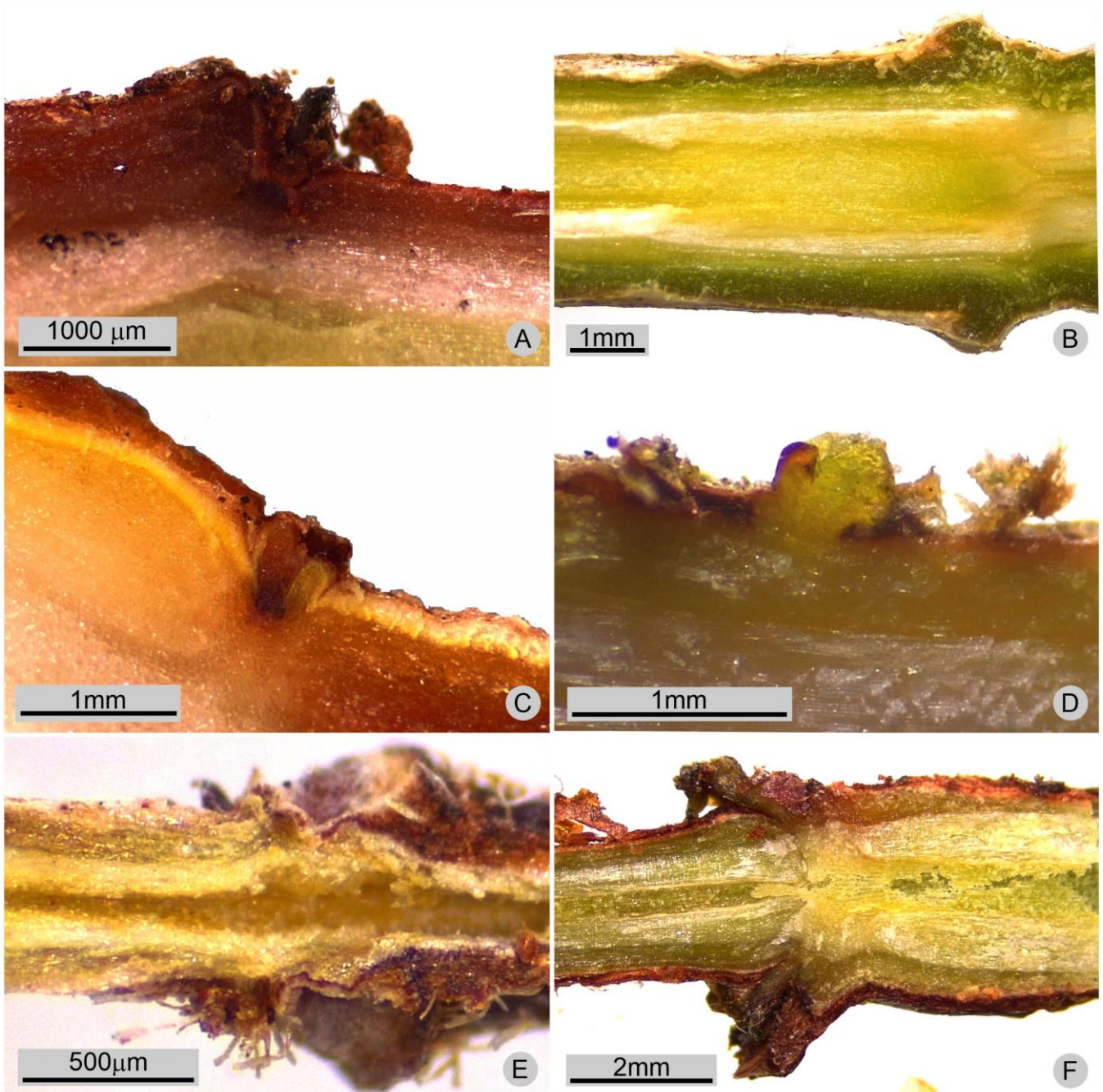


Figura 7. Gemas na região da cicatriz cotiledonar de leguminosas arbóreas do Cerrado. **A.** Colo de *A. cearensis*. **B.** Caule de *E. contortisiliquum*, evidenciando a ausência de gemas nessa região. **C.** Colo de *Erythrina* spp. **D.** Caule de *S. alata*. **E.** Caule de *S. adstringens* protegida por tricomas glandulares e tectores. **F.** Caule de *T. vulgaris*.

Das seis espécies estudadas duas apresentaram taxa de rebrotamento superior a 50% após a passagem do fogo, dessas apenas *E. contortisiliquum* não apresentou rebrotamento de regiões subterrâneas protegidas pelo solo. Com relação as quatro espécies com taxa de rebrotamento inferior à 50%, nenhuma delas apresentou rebrotamento abaixo do solo.

DISCUSSÃO

As descrições na literatura das espécies de Fabaceae do nosso estudo são consistentes com os nossos achados antes do fogo (Martins 2020, Huamantupa-Chuquimaco et al 2020, Bortoluzzi et al 2020, Seleme 2020), no entanto, após o distúrbio em todas as espécies que sobreviveram, foi possível observar algumas mudanças na arquitetura das plantas. Além das alterações já descritas no capítulo um, as folhas mais basais dos indivíduos que rebrotaram de *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* spp. e *S. alata* ficaram inseridas mais abaixo do caule.

A arquitetura das plantas relacionada à sobrevivência ao fogo e geada foi observada no trabalho de Botha et al (2020), no qual as espécies de plantas que possuíam folhas vivas basais abaixo de um centímetro e caules mais altos tinham maior resistência a danos causados pelo fogo. Em relação às alterações do caule, relacionadas a altura e diâmetro, como citados no capítulo anterior, estão relacionados aos critérios descritos por Gignoux, Clobert & Menaut (1997), no qual o crescimento rápido de lenhosas é uma estratégia para fugir da linha do fogo ou o espessamento de casca para proteger as gemas de possíveis eventos futuros.

A capacidade de sobrevivência de espécies lenhosas em ambientes propensos ao fogo, está intimamente relacionada com a presença de gemas protegidas pelo solo, pela casca, tricomas e primórdios foliares (Chiminazzo et al., 2021, Borrows et al., 2008). Além da proteção de gemas, a localização e velocidade de crescimento dos rebentos também são fatores que corroboram com a sobrevivência dessas espécies (Clarke et al., 2013). Gemas protegidas abaixo do solo garantem proteção em eventos de fogo, no entanto os novos brotos precisarão de mais energia para recuperarem a altura inicial, enquanto gemas acima do solo recobertas por casca estão menos

protegidas das chamas, mas precisam alocar menor quantidade de energia para rebrotar e ainda aumentam as chances de terem suas copas preservadas em eventos futuros (Clarke et al., 2013).

Outra estratégia de sobrevivência a eventos de fogo está na capacidade de produzir gemas após a passagem do fogo (Borrows et al, 2010). As gemas induzidas pelo fogo são caracterizadas pela formação a partir de tecidos formadores de gemas (Clarke et al, 2012), que em decorrência de uma lesão são estimulados a gerar gemas com a capacidade de formar um novo ramo, garantindo assim a sobrevivência dessa espécie em ambientes propensos ao fogo (Klimesová & Klimes, 2007). Essa capacidade pode explicar como espécies que não possuem gemas antes do fogo, como no caso de *E. contortisiliquum* em que na análise morfológica não foi possível averiguar a presença desses meristemas aos seis meses de idade, ainda assim possuem a capacidade de rebrotamento após a ocorrência do distúrbio.

No entanto, nem todas as gemas são formadas após o distúrbio, de fato, na maioria dos casos, estas já estão presentes nas plantas em um estado de dormência ou inibição (Klimesová & Klimes, 2007). A dormência pode ser inata ou induzida pelo ambiente, como em casos de seca, por exemplo. A inibição correlativa consiste na gema apical em crescimento, através de hormônios, impedir a quebra de dormência de gemas axilares e adventícias, como no caso das gemas cotiledonares (Anderson et al, 2001). Logo, quando um distúrbio como o fogo destrói a gema apical, ocorre a quebra dessa dominância e, por consequência, a dormência das gemas subsequentes que sobreviveram ao distúrbio, como observamos nas leguminosas arbóreas jovens no presente estudo.

A sobrevivência dessas gemas, no entanto, depende do quão protegidas do fogo elas estão (Charles-Dominique et al, 2015). No presente estudo o maior grau de proteção foi encontrado nas gemas na base de depressões profundas, mas não recobertas pela casca (grau 2), e as espécies com grau de proteção inferior a 2 não atingiram nem 50% de taxa de sobrevivência ao fogo, corroborando com os achados de Charles-Dominique et al. (2015) e Chiminazzo et al. (2021), que

descrevem que as espécies que possuíam gemas com maior proteção pela casca (grau 3) e/ou tricomas foram as mesmas com maior porcentagem de rebrotes das estruturas aéreas após o distúrbio.

Embora os tricomas sejam comumente associados à proteção contra herbivoria e dessecação (Werker, 2000; Silva et al, 2020), o estudo publicado por Chiminazzo et al. (2021) sobre proteção de gemas relacionadas a casca e tricomas, sugere que um outro papel bastante importante para os tricomas em ambientes inflamáveis é a proteção de gemas, visto que espécies de ambientes savânicos com gemas aéreas desprotegidas pela casca, mas com abundância desses apêndices possuem a capacidade de rebrotar e sobreviver ao fogo.

As gemas e tecidos formadores de gemas desempenham papel fundamental na sobrevivência das leguminosas do Cerrado, todavia outro fator igualmente importante é a capacidade de armazenar e alocar energia para que essas gemas rebrotem após a passagem do fogo (Clarke et al., 2013). O armazenamento de carboidratos não estruturais como reserva pode ser alocado nos caules ou raízes das plantas para serem utilizados como fonte de energia para o rebrotamento em casos de perda da biomassa aérea (Clarke et al., 2013). Estudos realizados por Paula & Ojeda (2009) e Schutz et al. (2009) demonstraram que plantas podem armazenar energia suficiente para sobreviverem a mais de uma rebrota, além de terem as reservas recuperadas rapidamente entre eventos de fogo.

Em plantas arbóreas as estruturas subterrâneas responsáveis pelo armazenamento de energia ou pelo banco de gemas consistem basicamente em raízes tuberosas, lignotubers e root-crowns (Pausas et al, 2018). No presente estudo morfológico definimos as estruturas subterrâneas como raiz tuberosa para *A. cearensis*, *E. contortisiliquum* e *Erythrina* spp. Todas as espécies com exceção de *A. cearensis* tiveram o rebrotamento localizado na região de “root crown”, no entanto apenas em *Erythrina* spp. as gemas estavam abaixo da linha do solo. As outras espécies do nosso estudo apresentaram raízes simples, sem intumescimento da raiz pivotante ou laterais. Contudo,

essas estruturas serão investigadas e detalhadas no próximo capítulo com auxílio de análises anatômicas.

CONCLUSÃO

A partir do exposto concluimos que as espécies arbóreas jovens do Cerrado em sua maioria, apresentam gemas ou tecidos formadores de gemas aos seis meses de idade, porém espécies que associam esses meristemas a estruturas subterrâneas que armazenem substâncias de reserva são mais eficazes em rebrotar após distúrbios do que espécies que não possuem essas estruturas subterrâneas. Além disso, distúrbios como fogo alteram a arquitetura das plantas jovens em relação à estrutura caulinar e inserção da altura das folhas mais basais, agindo como um fator para modular a paisagem relacionada a composição lenhosa de ambientes savânicos.

REFERÊNCIAS

- Appezato-da-Glória B. (2015). Morfologia de sistemas subterrâneos de plantas. Morphology of plant underground systems. 3i Editora: Belo Horizonte, Brasil.
- Appezato-da-Glória B., Estelita M. E. (2000). Development, structure and distribution of colleters in *Mandevilla illustris* and *M. velutina* (Apocynaceae). *Brazilian Journal of Botany*, 23: 113-120.
- Anderson J. V., Chao W. S., & Horvath D. P. (2001). A current review on the regulation of dormancy in vegetative buds. *Weed Science*, 49(5), 581-589.
- Arens K. (1958). Considerações sobre as causas do xeromorfismo foliar. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Botânica*, 23-56.
- Bortoluzzi R. L. C., Lima A. G., Souza V. C., Rosignoli-Oliveira L. G. and Conceição A. S. (2020). *Senna* in **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Botha M., Archibald S. & Greve M. (2020). What drives grassland-forest boundaries? Assessing fire and frost effects on tree seedling survival and architecture. *Ecology and evolution*, 10(19), 10719-10734.
- Buisson, E., S. Le Stradic, F. A. O. Silveira, G. Durigan, G. E. Overbeck, A. Fidelis, G. W. Fernandes, W. J. Bond, J.-M. Hermann, G. Mahy, S. T. Alvarado, N. P. Zaloumis, and J. W. Veldman. 2019. Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. *Biological Reviews*, 94:590–609.
- Burrows G. E., Hornby S. K., Waters D. A., Bellairs S. M., Prior L. D., Bowman D. M. J. S. (2010). A wide diversity of epicormic structures is present in Myrtaceae species in the northern Australian savanna biome—implications for adaptation to fire. *Australian Journal of Botany*, 58: 493-507.
- Ceccantini G. C. T. & Gusselia L. W. (2001). Os novos de fibras do abrigo rupestre Santa Elina (Jangada, MT, Brasil): anatomia vegetal e paleoetnobotânica. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, 11: 189-200.
- Charles-Dominique T., Beckett H., Midgley G. F., Bond W. J. (2015) Bud protection: a key trait for species sorting in a forest–savanna mosaic. *New Phytologist*, 207: 1052-1060.
- Chiminazzo M. A., Bombo A. B., Charles-Dominique T., Fidelis A. (2021) Your best buds are worth protecting: variation in bud protection in a fire-prone cerrado system. **Functional Ecology** 35(11) 2424-2434, 3 out. 2021.
- Clarke P. J., Lawes M J, Midgley J. J., Lamont B. B., Ojeda F., Burrows G. E., Enright N. J. & Knox K. J. E. (2013) Resprouting as a key functional trait: How buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytologist*, 197(1), 19-25.
- Coutinho L. M. (1982) Ecological Effects of Fire in Brazilian Cerrado. In: Huntley B.J., Walker

- B.H. (eds) Ecology of Tropical Savannas. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 42. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fidelis A., Appezzato-da-Glória B. & Pfadenhauer J. (2009). A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. Campos Sulinos. 88.
- Gignoux J., Clobert J. & Menaut J.-C. (1997) Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia*. 110:576–583.
- Huamantupa-Chuquimaco, I., Cardoso D. B. O. S., Cardoso L. J. T., Santana J. C. O., Simon M. F., Costa J. A. S. and Lima H. C. (2020). *Tachigali* in **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Klimešová K., Klimeš L. (2007). Bud banks and their role in vegetative regeneration—a literature review and proposal for simple classification and assessment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 8(3), 115-129.
- Legume Phylogeny Working Group (LPWG). (2013). Legume phylogeny and classification in the 21st century: progress, prospects and lessons for other species-rich clades. *Taxon*, 62: 217-248.
- Martins M.V. (2020). *Erythrina* in **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Midgley J. & Bond W. (2011) Pushing back in time: the role of fire in plant Evolution. *New Phytologist*, 191: 5-7.
- Midgley, J., & Bond, W. (2011). Pushing back in time: the role of fire in plant evolution. *New Phytologist*, 191(1), 5-7.
- Morretes B. L. (1966). Contribuição ao estudo da anatomia das folhas de plantas do cerrado II. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Botânica, 207-244.
- Morretes B. L. & Ferri M. G. (1959). Contribuição ao estudo da anatomia das folhas de plantas do cerrado. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Botânica, 5-70.
- Munin R. L., Teixeira R. C. & Sigrist M. R. (2008). Esfingofilia e sistema de reprodução de *Bauhinia curvula* Benth (Leguminosae: Caesalpinioideae) em cerrado no Centro-Oeste brasileiro.
- Paula S., Ojeda F. 2009 Belowground starch consumption after recurrent severe disturbance in three resprouter species of the genus *Erica*. *Botany-Botanique* **87**. 253-259
- Pausas J. G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic change*, 63: 337-350.

- Pausas J.G., Lamont B.B., Paula S., Appezzato-da-Glória B. & Fidelis A. (2018) Unearthing belowground bud banks in fire prone ecosystems. *New Phytologist*, 217: 1435-1448.
- Pereira Junior, L. C. S., Oliveira E. C. de, Rorig T. D. V., Arađjo P. I. P. De, Sanchez E. F., Garrett R., Mello J. C. P. de, Fuly A. L. (2020) The plant *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville as a neutralizing source against some toxic activities of *Bothrops jararacussu* snake venom. *Toxicon*, [S.L.].
- Pilon N. A. L. & Durigan G. (2013). Critérios para indicaçāo de espécies prioritárias para a restauraçāo da vegetaçāo de cerrado. *Scientia Forestalis*, 389-399.
- Ribeiro C. R. G. (2018) Efeito Do *Stryphnodendron Adstringens* Na Cicatrizaçāo De Feridas Complexas De Pessoas Com Pé Diabético. Dissertaçāo - Curso de Enfermagem, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas.
- Ricardo L. M., Dias B. M., Mügge F. L.B., Leite V. V. and Brandāo M. G.L. (2018) Evidence of traditionality of Brazilian medicinal plants: the case studies of *stryphnodendron adstringens* (mart.) coville (barbatimāo) barks and *copaifera* spp. (copaíba) oleoresin in wound healing. *Journal Of Ethnopharmacology*, [S.L.].
- Rissi M. N., Baeza M. J., Gorgone-Barbosa E., Zupo T., Fidelis A. (2017). Does season affect fire behaviour in the Cerrado? *International Journal of Wildland Fire*, 26: 427-433.
- Rizzini C. T. & Heringer, E. P. (1961). Underground organs of plants from some southern Brazilian savannas, with special reference to the xylopodium. *Phyton*, 17: 105-24.
- Schutz A. E. N., Bond W. J., Cramer M. D. 2009. Juggling carbon: allocation patterns of a dominant tree in a fire-prone savanna. *Oecologia* **160**. 235-256
- Seleme E. P. (2020). *Amburana* in **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Silva G. S. D., Ferraro A., Ogando F. I. B., Aguiar C. L. D., & Appezzato-Da-Glória B. (2020). Structures related to resprouting potential of two Myrtacear species from Cerrado Morpho-anatomical and chemical studies. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, **92**(1), e20180472.
- Simon M. F., Grether R., Queiroz L. P., Skema C., Pennington R. T. & Hughes C. E. (2009). Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 20359-20364.
- Sultan S. E. (2000). Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plants Science Reviews*, 5: 537-542.

- Verdaguer D., Ojeda F. (2002). Root starch storage and allocation patterns in seeder and resprouter seedlings of two Cape Erica (Ericaceae) species. *American Journal of Botany*, 89: 1189-1196
- Werker E (2000) Trichome diversity and development. *Advances in Botanical Research*. **31**, 1-35.
- Whelan R. J. (1995). *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press.

Capítulo III Análise anatômicas de atributos relacionados à sobrevivência ao fogo de leguminosas (Fabaceae) arbóreas jovens do Cerrado

INTRODUÇÃO

O fogo ocorre no planeta desde que as plantas terrestres passaram a fazer parte da atmosfera (Pausas & Keeley, 2009) e a partir de então ele desempenha um papel fundamental na organização dos biomas e modelagem das paisagens (Lamont & He, 2017). Assim, atualmente nos ambientes savânicos de todo o mundo, o fogo exerce um papel fundamental na dinâmica desses ecossistemas (Sankaran et.al. 2005; Beckage et al. 2011; Smit et. al. 2010).

As comunidades vegetais presentes nesses ambientes desenvolveram adaptações que lhes permitem sobreviver e prosperar diante desses eventos. Entre essas adaptações estão sementes estimuladas a germinar pelo fogo, plantas que florescem 24 horas após o distúrbio e estruturas subterrâneas com gemas e adaptadas para armazenar substâncias de reserva (Fidelis & Pivello, 2011; Fidelis et al, 2019)

A capacidade de armazenar substâncias de reserva é um fator essencial para que plantas lenhosas jovens cheguem a fase adulta em ambientes savânicos (Franco 2002), visto que a capacidade de rebrotar de órgãos subterrâneos ou da base do caule é a principal estratégia de sobrevivência das espécies que, em ambientes de fogo frequente, perdem parcial ou completamente a parte aérea, acarretando muitas vezes em supressão de tais espécies da comunidade (Hoffmann & Moreira, 2002; Hoffmann et al, 2012).

As adaptações de estruturas subterrâneas relacionadas aos ambientes savânicos são bastante estudadas para espécies herbáceas (Fidelis et al 2009, Appezzato-da-Glória 2015; Pausas *et al.* 2018, Bombo et al., 2022 e Pilon et al 2021), mas pouco se sabe sobre as estruturas anatômicas que permitem espécies arbóreas a persistir nesses ambientes. Os estudos relacionados às espécies arbóreas e suas adaptações para sobreviver ao fogo se atêm a aspectos morfológicos (Charles-Dominique et al, 2015; Chiminazzo et al, 2021).

Muitas vezes a correta identificação das estruturas subterrâneas enfrenta problemas terminológicos que só podem ser revolidos com estudos ontogenéticos e anatômicos (Appezzato-

da- Glória 2015; Pausas *et al.* 2018; Milanez & Moraes-Dallaqua 2003). Isso ocorre porque apenas características da morfologia externa não são suficientes para identificar as estruturas subterrâneas (Apezzato-da-Glória 2015; Figueiredo 1972; Paviani 1972). Assim, o estudo anatômico se faz necessário para identificar não somente a origem e natureza de cada órgão, mas também para uma melhor compreensão das respostas ecofisiológicas dessas estruturas em relação ao fogo (Apezzato-da-Glória 2015).

A família Fabaceae é uma das maiores famílias botânicas existentes (LPWG, 2017) com cerca de 751 gêneros (Lewis *et. al.*, 2005). Isso implica que há uma grande diversidade de estruturas e características anatômicas presentes nessa família, como a presença ou ausência de tecidos secretores, variação na espessura da casca e córtex dos caules, presença ou ausência de tecidos esclerenquimáticos na periderme, entre diversos outros relacionados até mesmo as substâncias de armazenamento presentes em cada espécie (Silva *et al* 2012, Zoric *et al* 2012, Tekin e Yilmaz 2015 e Silvério Pena Bento *et al* 2020).

Além das características relacionadas as variações entre espécies, também já foi amplamente estudado a capacidade plástica dessas espécies diante de distúrbios ou estresse (Gostin 2009, Giuliane *et al* 2019 e Bravo *et al* 2021). Apesar de a família Fabaceae ser amplamente estudada ao redor do mundo, a anatomia de plantas jovens é pouco conhecida, assim sendo, esperamos que nosso estudo contribua para conhecimento da anatomia de plantas jovens dessa família assim como a capacidade plástica dessas quando ainda jovens.

Este estudo teve como objetivo caracterizar as estruturas subterrâneas e caule de Fabaceae lenhosas jovens do Cerrado com a finalidade de averiguar a plasticidade das espécies estudadas após o fogo, bem como identificar as estruturas, características anatômicas e reservas responsáveis pelo rebrotamento após a passagem do fogo.

MATERIAL E MÉTODOS

Material botânico

O material botânico utilizado foram plântulas e plantas jovens das espécies *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* spp., *S. alata*, *T. vulgaris* e *S. adstringens* pertencentes a família Fabaceae, essas foram cultivadas em casa de vegetação até os seis meses de idade para então serem conduzidas ao experimento de fogo, conforme detalhado nos capítulos anteriores. Após o experimento, as plantas foram reconduzidas à casa de vegetação e acompanhadas por mais seis meses, a fim de averiguar a capacidade de rebrotamento e sobrevivência, para enfim serem coletadas para a realização das análises em laboratório.

Estudos Anatômicos

Para as análises anatômicas de caule e raiz foram coletados três indivíduos de cada espécie aos seis meses de idade, antes da realização do experimento. Após seis meses da realização do experimento, mais seis indivíduos de cada espécie foram coletados, sendo três pertencentes ao grupo controle e três indivíduos que passaram pelo experimento de fogo.

O material vegetativo foi fixado em FAA70 (Johansen 1940) e posteriormente desidratado e estocado em álcool etílico 70%. Secções (transversais e longitudinais) foram feitas em micrótomo de deslize, clarificadas com hipoclorito de sódio a 20% e lavadas em água destilada. Os cortes obtidos foram corados em safranina e azul de astra (Bukatsch 1972; Burger & Richter 1991), desidratados em série etílica, acetato de butila 50% e 100% e montados em resina sintética “Entellan” (lâminas permanentes).

Amostras dos órgãos vegetativos também foram desidratadas em série etílica, incluídas em hidróxi-etil-metacrilato (Leica Historesin) e os blocos obtidos foram seccionados a 8 micrômetros de espessura. O material foi corado com azul de toluidina 0,05% em tampão fosfato e ácido cítrico pH 4,5 (Sakai 1973) e as lâminas montadas em resina sintética “Entellan”.

Os testes histoquímicos foram realizados em três indivíduos de cada espécie, utilizando-se secções de material fixado dos órgãos vegetativos (subterrâneo: caules e raízes). A presença de

substâncias lipofílicas foi visualizada pelo emprego de Sudan IV (Jensen 1962). As lâminas foram montadas com o próprio reagente ou em água destilada. A presença de amido foi verificada pelo emprego de lugol (Berlyn & Miksche 1976); a presença de compostos fenólicos pelo emprego de cloreto férrico (Johansen 1940) e as substâncias pécnicas evidenciadas pelo vermelho de rutênio (Johansen 1940).

As fotomicrografias dos materiais preparados em lâminas foram feitas em microscópios e lupas acoplados a câmeras para obtenção de imagens, com as escalas micrométricas fotografadas e ampliadas nas mesmas condições ópticas utilizadas.

RESULTADOS

Observando a anatomia dos caules e raízes das plantas aos seis meses de idade nos cortes transversais, é possível verificar crescimento secundário para todas as espécies estudadas (Figura 1). Para *A. cearensis* e *T. vulgaris*, aos seis meses não foi possível ver resquícios da epiderme que foi completamente substituída pela periderme. Quanto s demais espécies, foi possível observar a epiderme rompida em alguns pontos ou apenas resquícios desta, enquanto os tecidos secundários se formavam abaixo da epiderme uniestratificada.

As plantas do grupo controle com 12 meses, das espécies *E. contortisiliquum*, *Erythrina* spp. e *S. alata* apresentam epiderme persistente apesar do crescimento secundário já iniciado aos seis meses. Com relação aos indivíduos que passaram pelo experimento de fogo, aos 12 meses apenas *S. alata* ainda apresenta epiderme persistente, enquanto para *Erythrina* spp. a epiderme foi completamente substituída por periderme e para *E. contortisiliquum* foi possível observar apenas resquícios do tecido de revestimento primário.

Quanto à região cortical, apenas *A. cearensis* e *E. contortisiliquum* apresentaram uma camada de fibras próxima ao floema. Todas as outras espécies tiveram a região cortical composta

por células parenquimáticas compactas e homogêneas dos seis aos 12 meses de idade, não passando por alterações morfológicas em decorrência do fogo.

Os indivíduos de *A. cearensis* apresentam raios parenquimáticos uniestratificados, estreitos e pouco evidentes que se estendem até o floema em indivíduos de seis e 12 meses de idade. Nos elementos de vaso de *A. cearensis*, há um aumento no calibre dos indivíduos de um ano com relação aos indivíduos de seis meses de idade, no entanto, a quantidade desses elementos segue moderada nos dois grupos. Com relação aos indivíduos controle e que passaram pelo fogo, os tecidos vasculares da espécie não exibiram qualquer diferença visível. As fibras presentes próximas ao floema para os indivíduos de *A. cearensis* com seis meses e um ano controle não são visíveis em indivíduos que passaram pelo experimento de fogo.

E. contortisiliquum apresenta raios parenquimáticos estreitos, uniestratificados que seguem até o floema e ficam mais evidentes nos indivíduos com 12 meses de idade, mas não se alteram em decorrência do fogo. O fogo também não parece alterar o calibre dos elementos de vaso, mas causam efeito na quantidade destes que aumenta nas plantas que passaram pelo fogo quando comparado as plantas controle. As fibras observadas próximas ao floema nos indivíduos de *E. contortisiliquum* se mantiveram iguais e indiferentes ao distúrbio e a idade das plantas.

Com seis meses de idade, os raios parenquimáticos de *Erythrina* spp. são pouco evidentes, mas se tornam mais claros aos 12 meses, quando podemos observar feixes estreitos, multiestratificados e que se estendem até o floema. Os elementos de vaso também ficam mais evidentes nos indivíduos com um ano, mas ao contrário dos feixes que não se alteram em decorrência do fogo, os elementos de vaso de *Erythrina* spp. diminuem em quantidade e se tornam maiores nas plantas queimadas. Outra característica que pode ser observada nos indivíduos de *Erythrina* spp. que passaram pelo fogo foi a presença de conjuntos de fibras do xilema se alternando em faixas com os demais elementos celulares do xilema secundário.

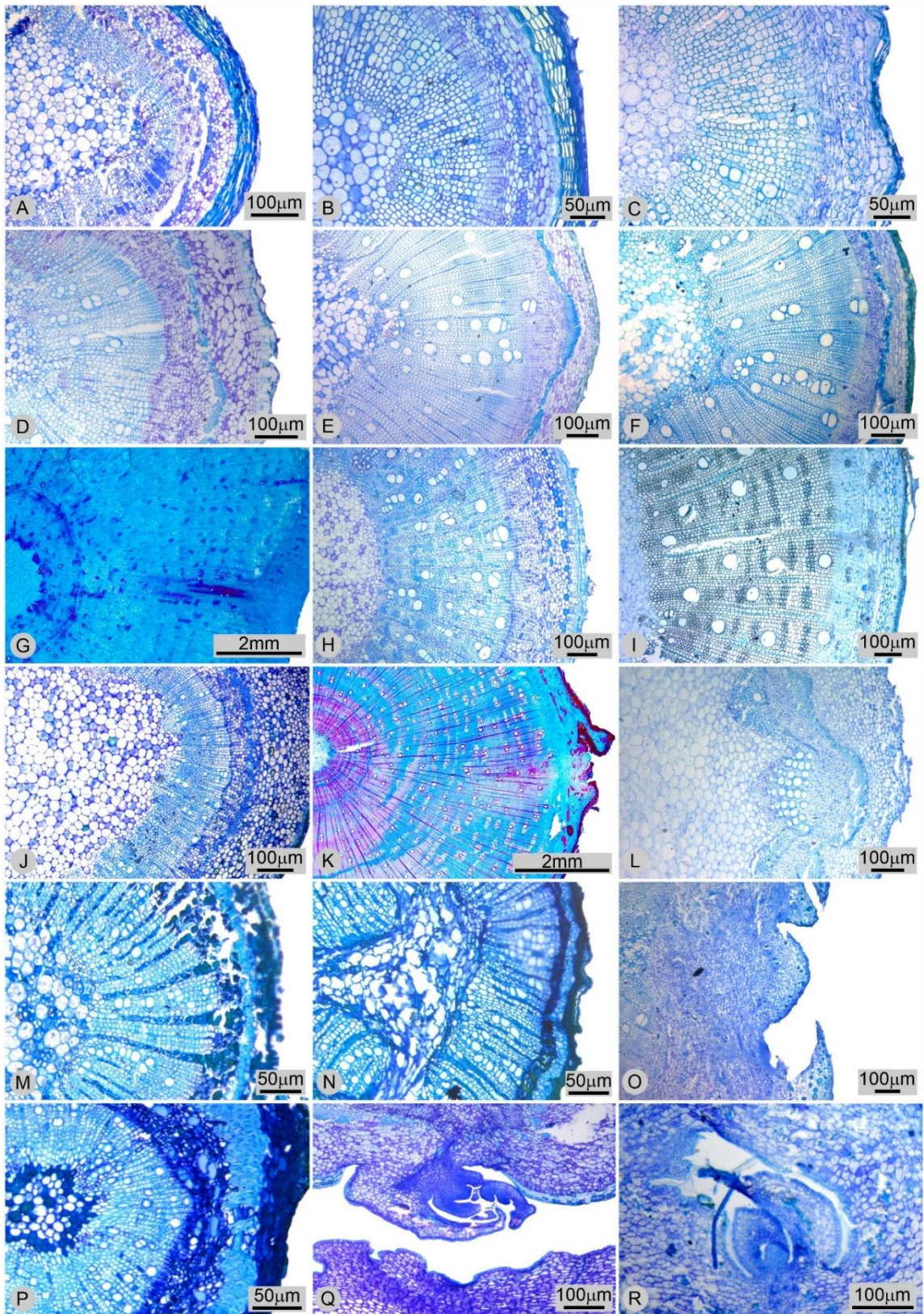


Figura 1. Cortes transversais do caule das leguminosas arbóreas e detalhes das gemas axilares. **A, D, G, J, M e P.** Indivíduos com seis meses de idade. **B, E, H, K, N e Q.** Indivíduos controle com 12 meses de idade. **C, F, I, L, O e R.** Indivíduos com 12 meses que passaram pelo experimento com fogo. **A, B e C.** *A. cearensis*. **D, E e F** *E. contortisiliquum*. **G, H e I** *Erythrina* spp.. **J, K e L.** *S. alata*. **M e N.** *T. vulgaris*. **O.** Detalhe da formação de uma gema axilar no caule de *Erythrina* spp. **P.** *S. adstringens*. **Q e R.** Detalhe da formação de uma gema axilar no caule de *E. contortisiliquum*.

Em *S. alata* os raios parenquimáticos são uniestratificados, estreitos e ficam mais evidentes nos indivíduos com um ano de idade. A presença de um conjunto fibras externo ao floema só foi observada nas plantas com seis meses de idade. Os elementos de vasos em *S. alata* aumentam em quantidade nas plantas mais velhas, porém não foi possível estabelecer uma comparação da estrutura do xilema secundário entre plantas do fogo e controle, pois os indivíduos de *S. alata* que passaram pelo experimento de fogo estavam no estágio inicial de crescimento secundário no momento da coleta e, por isso, a organização do tecido ainda não estava clara.

Os raios parenquimáticos aumentam em número nos indivíduos de um ano quando comparado aos de seis meses de *T. vulgaris*, no entanto independentemente da idade são uniestratificados, largos e compostos por células que armazenam compostos fenólico e amido. Os elementos de vaso de *T. vulgaris* são pequenos, mas observados em quantidade moderada e não se alteram até os 12 meses. Para *S. adstringens* os raios parenquimáticos são pouco evidentes nas plantas jovens, os elementos de vaso são abundantes e pequenos e no floema é possível observar idioblastos contendo compostos fenólicos.

As espécies estudadas apresentam medula composta por células parenquimáticas que se mantiveram sem alterações até os 12 meses de idade, com exceção de *S. adstringens* em que é possível observar uma deformação da medula nos indivíduos controle de um ano (Figura 1 N). Na medula de *A. cearensis* observou-se a presença de grãos de amido aos seis meses. Nos indivíduos de *E. contortisiliquum*, foi possível observar gemas axilares bem protegidas pela inserção das folhas no caule, tanto nas plantas controle quanto nas plantas que rebrotaram após a passagem do fogo (Figura 1 Q e R).

Com relação à anatomia das raízes, quase todas as espécies estudadas apresentaram crescimento secundário aos seis meses de idade, com exceção de *S. alata* (Figura 2 J), que só apresentou crescimento secundário nos indivíduos com 12 meses. Para as outras cinco espécies,

aos seis meses é possível observar a periderme se instalando enquanto o córtex e resquícios da epiderme são descartados.

Quando comparamos as plantas controle aos 12 meses e as que passaram pelo fogo, podemos observar que *A. cearensis* apresentou periderme mais espessa para as plantas controle, o oposto ocorreu pra *E. contortisiliquum*, que apresenta a periderme espessada e felema bem organizado nas plantas que passaram pelo fogo, enquanto o grupo controle ainda permanece com resquícios de córtex. *Erythrina* spp. e *S. alata* não tiveram alterações entre grupo controle e fogo.

Assim como no caule os raios parenquimáticos não são bem demarcados em *A. cearensis* e se estendem até o floema. Os elementos de vaso, aos seis meses de idade, são de calibre pequeno e pouco evidentes na estrutura da raiz, porém ficam mais demarcados nos indivíduos com 12 meses de idade, tanto para o grupo controle, quanto para os indivíduos de *A. cearensis* que passaram pelo distúrbio. Foi possível observar grãos de amido dentro das células parenquimáticas do xilema secundário na raiz pivotante. As fibras observadas no caule próximas ao floema, não ficam evidentes na anatomia da raiz, no entanto há a presença de idioblastos contendo cristais alocados na região onde estariam as fibras.

Os raios parenquimáticos uniestratificados de *E. contortisiliquum* são bem aparentes nas plantas controle de seis e 12 meses, mas ficam menos evidentes nos indivíduos que passaram pelo distúrbio. Os elementos de vaso, que só se destacam em diâmetro nas plantas com de um ano, não parecem passar por modificação relacionadas ao fogo. As fibras após o floema, característica vista também no caule de *E. contortisiliquum*, se mantêm na raiz sem sofrer alterações em nenhuma idade ou variável estudada e, junto às fibras, foi possível observar a presença de idioblastos contendo cristais (Figura 2 R). Grãos de amido ficaram evidentes nas células parenquimáticas na região do xilema das raízes tuberoras.

Erythrina spp. aos seis meses apresenta raios parenquimáticos uniestratificados e, assim como no caule, se tornam multiestratificados nos indivíduos de um ano independente do fogo. Os

elementos de vaso são escassos aos seis meses, aumentam em quantidade aos 12 e se tornam abundantes em indivíduos que passaram pelo experimento do fogo. Assim como para *A. cearensis* e *E. contortisiliquum*, *Erythrina* spp. possui cristais presentes nas células do floema e periderme, além de grãos de amido nas células parenquimáticas do xilema secundário na raiz tuberosa. A organização dos tecidos condutores secundários de *S. alata* não apresenta nenhuma alteração anatômica entre as plantas controle e do experimento de fogo. Os raios parenquimáticos são estreitos, uniestratificados e se estendem até o floema. Há a presença de elementos de vaso abundantes e robustos nas plantas com um ano de idade. Para *S. alata* não foi observado a presença de células contendo cristais ou grãos de amido, mas foi possível verificar as estrias de Caspary associadas à endoderme nas plantas aos seis meses de idade (Figura 2 Q).

Nos indivíduos jovens de seis meses, os raios parenquimáticos do xilema secundário de *T. vulgaris* são uniestratificados com células largas, no entanto aos 12 meses foram observados alguns raios com duas camadas de células, em ambos os casos essas células são de armazenamento de substâncias, assim como visto no caule. Para as duas idades os elementos de vaso observados, são abundantes e pequenos. Por outro lado, *S. adstringens* apresenta poucos elementos e os raios parenquimáticos não foram visíveis nos indivíduos de seis meses.

Quanto ao xilema primário, a organização dos polos de protoxilema observados para as leguminosas estudadas foi triarca para *S. alata*, tetraarca para *E. contortisiliquum*, *T. vulgaris* e pentarca para *S. adstringens* e poliarca para *Erythrina* spp.. Em *A. cearensis* o xilema primário se organiza de forma anômala não sendo possível observar uma organização numérica nos polos de protoxilema (Figura 2 R).

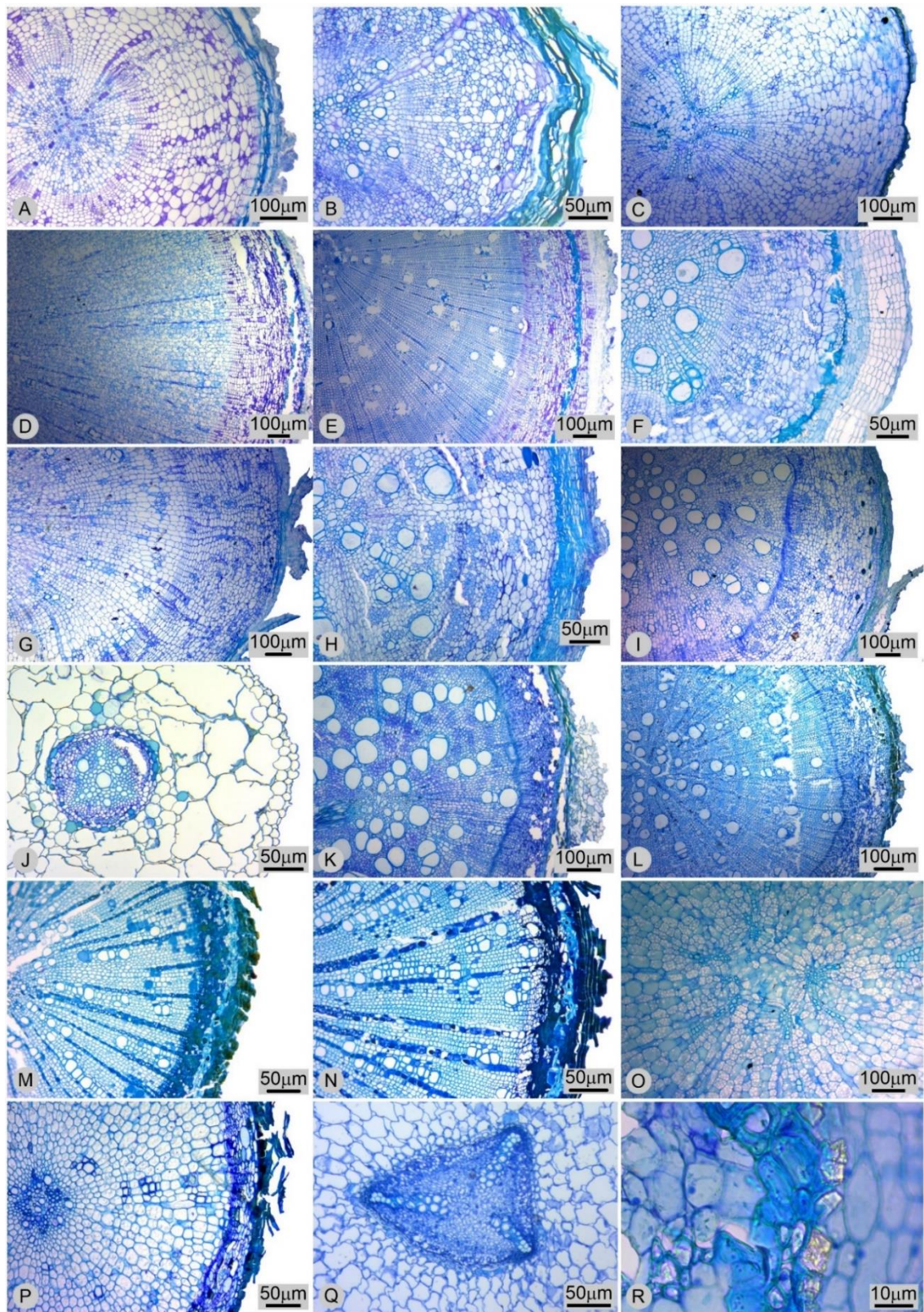


Figura 2. Cortes transversais da raiz das leguminosas arbóreas. **A, D, G, J, M e P.** Indivíduos com seis meses de idade. **B, E, H, K, N e Q.** Indivíduos controle com 12 meses de idade. **C, F, I, L, O e R.** Indivíduos com 12 meses que passaram pelo experimento de fogo. **A, B e C.** *A. cearensis*. **D, E e F** *E. contortisiliquum*. **G, H e I** *Erythrina* spp.. **J, K e L.** *S. alata*. **M e N.** *T. vulgaris*. **O.** Detalhe da organização do protoxilema de *A. cearensis*. **P.** *S. adstringens*. **Q.** Polo triarca de protoxilema de *S. alata*. **R.** Detalhe de cristais associados a fibras na raiz de *E. contortisiliquum*.

A região do colo das leguminosas estudadas foi onde as gemas e os rebrotamentos ocorreram, principalmente surgindo de gemas cotiledonares. Estudar essa região, observando a presença e proteção das gemas, nos traz repostas sobre as taxas de sucesso e mortes citadas no Capítulo 1 dessa dissertação.

Assim sendo, as seis espécies estudadas tiveram na região do colo características anatômicas de caule, sendo possível observar a presença de medula na região central do cilindro vascular e os tecidos vasculares e de revestimento seguiram as características já descritas para os caules nas idades e condições informadas nos parágrafos anteriores.

Morfologicamente as gemas na região do colo foram observadas com auxílio da lupa em sua maioria na região da cicatriz cotiledonar nos indivíduos de seis meses, como descrito no capítulo anterior. Por essa razão nossas análises anatômicas foram realizadas nessa região para todas as espécies, exceto no caso de *E. contortisiliquum*, em que também realizamos cortes na região abaixo da cicatriz, onde os rebrotamentos foram observados.

Com os cortes transversais do colo, na região da cicatriz cotiledonar, foi possível observar gemas em quatro das seis espécies de leguminosas estudadas, *A. cearensis*, *Erythrina* spp., *S. alata* e *S. adstringens*. Para *E. contortisiliquum*, aos seis meses só foi possível encontrar gemas na região abaixo da cicatriz cotiledonar com cortes longitudinais (Figura 3 D e Q). Para *T. vulgaris*, que não sobreviveu ao experimento de fogo, aos seis e 12 meses não conseguimos identificar a presença de gemas em nenhum dos cortes analisados (Figura 3 M e N).

No colo dos indivíduos de *A. cearensis* com seis meses, na região em que foram observadas gemas havia a presença de um fungo nos cortes anatômicos (Figura 3 A). No entanto, os indivíduos do grupo controle com um ano, na mesma região, apresentaram gemas sem interação com nenhum microrganismo (Figura 3 B).

Erythrina spp., *S. alata* e *S. adstringens* aos seis meses apresentaram gemas que podem ser observadas nas figuras 3 G, J e P, respectivamente. As gemas de *S. alata* foram observadas aos

pares, na região paralela e na altura da cicatriz cotiledonar, sem a proteção de cascas ou tricomas aparentes (Figura 3 R). A ausência de casca recobrando as gemas nas plantas de seis meses também foi observada em *S. adstringens*, que não sobreviveu ao experimento de fogo (Figura 3 P). *Erythrina* spp. foi a espécie com maior taxa de rebrotamento deste estudo, por isso vale salientar que, apesar de a casca não recobrir completamente as gemas estas ficam na região do corpo da planta abaixo do solo.

O grupo controle aos 12 meses de idade de *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* spp. e *S. alata* na região da cicatriz cotiledonar, apresentou gemas bem desenvolvidas com origem no periciclo (Figura 3 B, E, H, e K). *E. contortisiliquum*, que foi a segunda espécie que mais rebrotou, foi a única a ter gemas recobertas pela casca, para os indivíduos com um ano e seis meses de idade. Ainda, aos seis meses as gemas se desenvolvem tão abaixo da casca que não são observáveis sem a realização de cortes histológicos (Figura 3 Q).

Na anatomia do colo de *A. cearensis*, *E. contortisiliquum*, *Erythrina* spp. e *S. alata*, dos indivíduos que passaram pelo fogo, é possível observar o caule carbonizado, englobado pelo caule novo que rebrotou após o distúrbio (Figura 3 C, F, I, L e O). Em todos os casos o caule queimado tem coloração mais avermelhada e apresenta uma atividade metabólica menor e tecidos inativos.

A fim de esclarecer a capacidade de armazenamento de substâncias, pelos tecidos do caule e raiz das leguminosas estudadas, foram realizados testes histoquímicos. A capacidade de armazenamento de algumas dessas substâncias, pode trazer luz a respeito de reservas energéticas que possam ser utilizadas na rebrota dos indivíduos após o fogo.

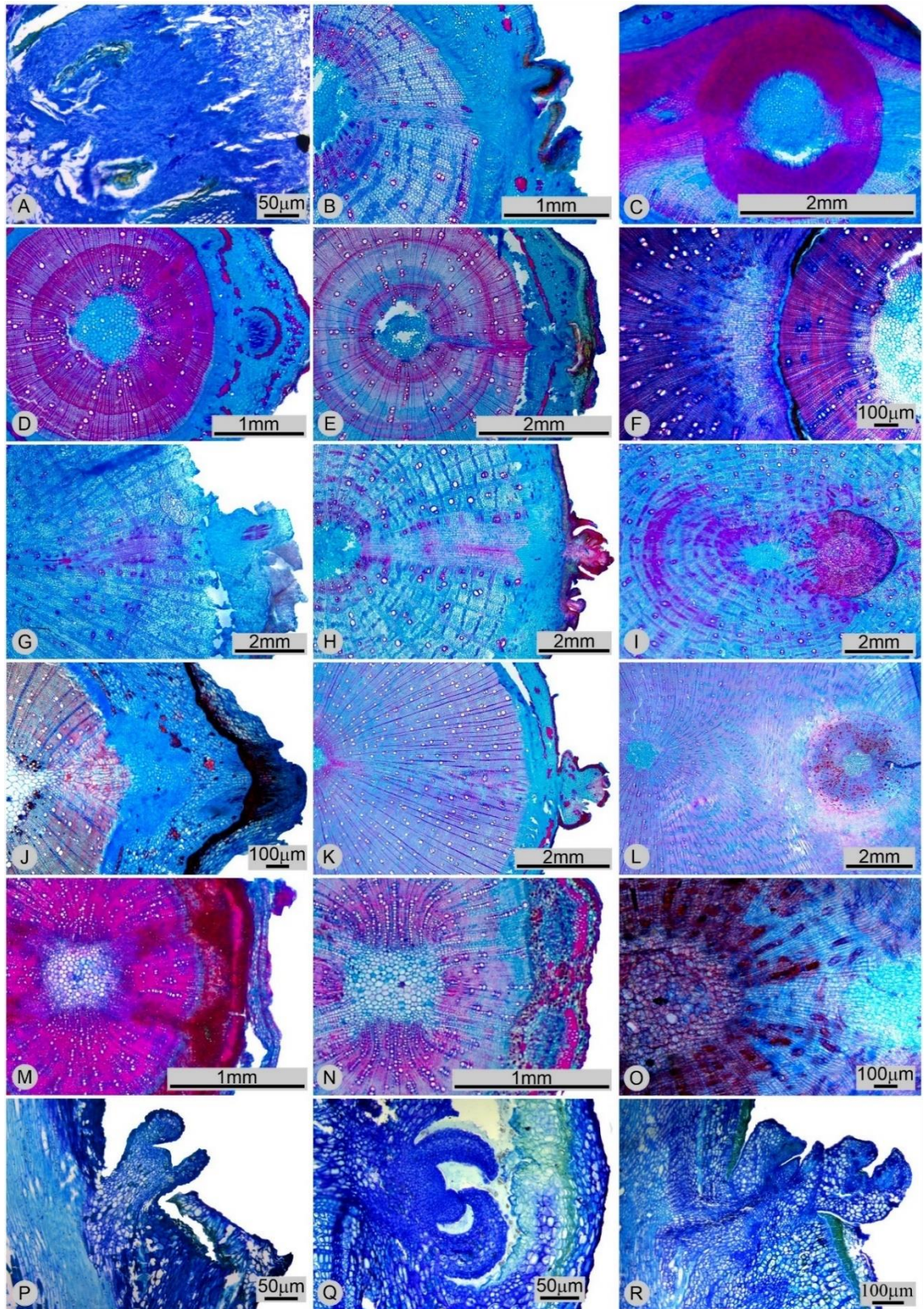


Figura 3. Cortes transversais e longitudinais do colo das leguminosas arbóreas. **A, D, G, J, M, P, Q e R.** Indivíduos com seis meses de idade. **B, E, H, K e N.** Indivíduos controle com 12 meses de idade. **C, F, I, L e O.** Indivíduos com 12 meses que passaram pelo fogo. **A, B e C.** *A. cearensis*. **D, E e F** *E. contortisiliquum*. **G, H e I** *Erythrina* spp.. **J, K e L.** *S. alata*. **M e N.** *T. vulgaris*. **O.** Detalhe do caule novo crescendo ao redor do caule queimado de *Erythrina* spp.. **P.** Corte longitudinal de *S. adstringens*. **Q.** Gema localizada no colo de *E. contortisiliquum*. **R.** Duas gemas localizadas no colo de *S. alata*.

Quando comparamos indivíduos com seis meses e um ano de idade em relação ao armazenamento de substâncias, usando os testes histoquímicos empregados, constatamos três diferenças relacionadas à presença ou ausência das substâncias testadas (Tabela 2). A primeira delas ocorreu em *E. contortisiliquum*, em que houve reação positiva para compostos fenólicos sem idioblastos presentes na região cortical da raiz dos indivíduos com um ano e nenhuma reação foi observada na raiz dos indivíduos mais jovens.

A segunda diferença foi observada no caule de *S. alata* que revelou a presença de grãos de amido em quase todos os tecidos nas plantas com seis meses (periderme, floema e xilema secundário, córtex e medula), enquanto nas plantas com um ano não houve qualquer reação nos caules ao emprego do reagente lugol. A terceira diferença ocorreu nas raízes de *T. vulgaris*, em que se verificou a presença de lipídeos na periderme dos indivíduos de um ano, que não foi observado nas plantas mais jovens.

Tabela 2. Resumo das reações dos testes histoquímicos em caule e raiz das leguminosas arbóreas comparando plantas controle com seis meses e um ano de idade.

Espécies		6 meses (Controle)				12 meses (Controle)			
		CF	Lg	Sd IV	VR	CF	Lg	Sd IV	VR
<i>A. cearensis</i>	Caule	+	+	+	+	+	+	+	+
	Raiz	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. contortisiliquum</i>	Caule	-	+	+	+	-	+	+	+
	Raiz	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrina spp.</i>	Caule	-	+	+	+	-	+	+	+
	Raiz	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. alata</i>	Caule	-	+	+	+	-	-	+	+
	Raiz	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>T. vulgaris</i>	Caule	+	+	+	+	+	+	+	+
	Raiz	+	+	-	+	+	+	+	+

CF – Cloreto férrico; Lg – Lugol; Sd IV- Sudan IV; VR – Vermelho de rutênio.

Com relação aos tecidos em que as substâncias presentes em cada espécie estavam alocadas, também foram observadas algumas variações em decorrência da idade dos indivíduos. Na raiz de *S. alata* com seis meses, os compostos fenólicos estavam presentes apenas na região do córtex, enquanto nas plantas controle aos 12 meses, essa classe de substâncias além de estar presente no córtex, também foi observada na cutícula e periderme. Em *T. vulgaris* a diferença em relação aos compostos fenólicos foi observada no caule, plantas das duas idades tiveram reação

positiva com cloreto férrico na periderme e floema secundário. No entanto, as plantas com seis meses também indicaram a presença de compostos fenólicos na medula, mas não no córtex, o que se inverteu para as plantas com 12 meses.

Os tecidos que armazenam grãos de amido no caule e raiz de *A. cearensis* foram diferentes para as plantas com seis meses e um ano. Na raiz das plantas de seis meses, o amido foi observado no xilema secundário, enquanto nas plantas com 12 meses, a substância também estava presente na região do córtex. No caule de *A. cearensis* as plantas de um ano armazenam amido na medula e xilema secundário, enquanto as plantas com seis meses os grãos de amido foram observados apenas na região do xilema secundário.

No caule de *E. contortisiliquum*, a presença de amido nas plantas com seis meses foi verificada na periderme, xilema secundário e medula, enquanto nas plantas com um ano apenas o xilema secundário apresentou reação positiva ao reagente. Outra variação nos tecidos em que a presença de amido foi observada no caule de *T. vulgaris*, tendo os indivíduos com seis meses armazenado a substância no xilema secundário e medula, enquanto os indivíduos de um ano o fizeram apenas na periderme.

Também foram observadas algumas variações nos locais que reagiram para substâncias lipídicas na raiz e caule de *S. alata* e caule de *T. vulgaris*. No caule de *S. alata* aos seis meses de idade, as substâncias lipídicas foram observadas na cutícula e periderme, já nas plantas de um ano, tais substâncias foram verificadas apenas na cutícula. Os indivíduos de *S. alata* com seis meses apresentaram substâncias lipídicas alocadas na região do periciclo e endoderme, enquanto nos indivíduos de 12 meses foi observada reação positiva para a substância apenas na periderme. Para *T. vulgaris*, no caule das plantas de seis meses a periderme teve reação positiva para substâncias lipídicas e a cutícula negativa, o que se inverteu nas plantas com 12 meses.

Foram observadas apenas duas variações nos testes histoquímicos entre plantas controle e queimada a respeito da presença e ausência de determinadas substâncias (Tabela 3). A primeira

delas ocorre nos caules de *A. cearensis*, em que para indivíduos que passaram pelo experimento de fogo não houve reação positiva para substâncias fenólicas, enquanto indivíduos controle de ambas idades apresentaram reação positiva para compostos fenólicos na periderme (Figura 4 B e C).

A segunda diferença ocorreu na raiz de *S. alata*, em que nos indivíduos do experimento com fogo não apresentaram reação positiva no emprego de Sudan IV. No entanto, na raiz de indivíduos de seis meses de *S. alata* também não houve indícios da presença de lipídeos na periderme, como ocorreu no grupo controle aos 12 meses de idade (Figura 4 E e F).

Tabela 3. Resumo das reações dos testes histoquímicos em caule e raiz das leguminosas arbóreas comparando plantas controle e queimadas da mesma idade.

Espécies		12 meses (Controle)				12 meses (Fogo)			
		CF	Lg	Sd IV	VR	CF	Lg	Sd IV	VR
<i>A. cearensis</i>	Caule	+	+	+	+	-	+	+	+
	Raiz	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. contortisiliquum</i>	Caule	-	+	+	+	-	+	+	+
	Raiz	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrina spp.</i>	Caule	-	+	+	+	-	+	+	+
	Raiz	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. alata</i>	Caule	-	-	+	+	-	-	+	+
	Raiz	+	+	+	+	+	+	-	+

CF – Cloreto férrico; Lg – Lugol; Sd IV- Sudan IV; VR – Vermelho de rutênio.

A respeito dos tecidos em que essas substâncias são armazenadas, também foram observadas algumas diferenças entre indivíduos controle de um ano e indivíduos que rebrotaram após o fogo. No emprego de cloreto férrico na raiz de *S. alata* controle, a cutícula, a periderme e idioblastos presentes no córtex reagiram indicando a presença de compostos fenólicos, enquanto nos indivíduos que passaram pelo fogo, esses compostos foram observados apenas na periderme e idioblastos do córtex.

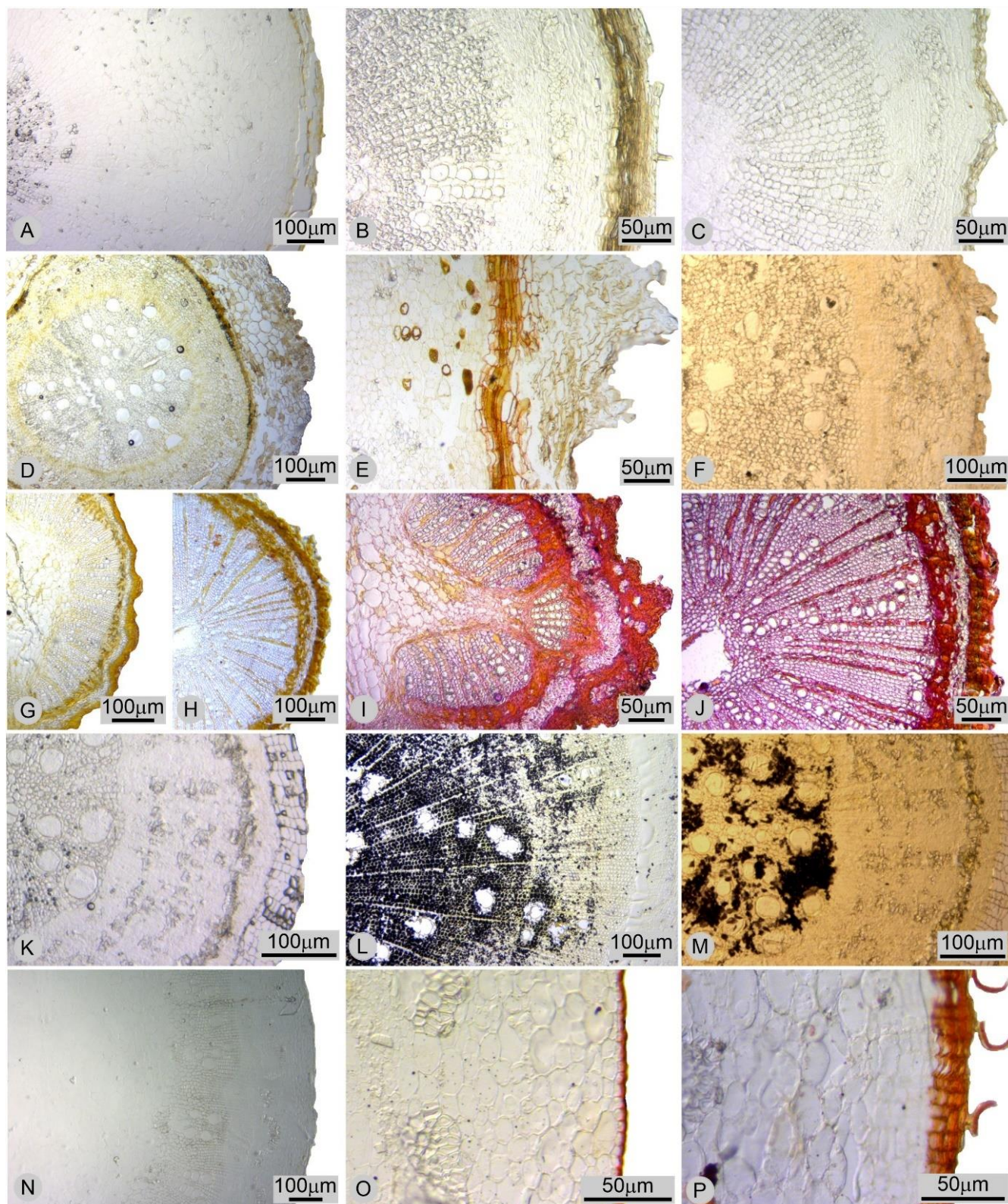


Figura 4. Testes histoquímicos realizados em cortes transversais realizados no caule e raiz das leguminosas arbóreas. **A, D, G, H, K e N.** Imagens de cortes imersos em água destilada (branco) de indivíduos com 12 meses. **B, E, I, J, L e O.** indivíduos do grupo controle com 12 meses. **C, F, M e N.** Indivíduos com 12 meses que passaram pelo fogo. **B e C.** Cloreto Férrico. **E, F, O e P.** Sudan IV. **I e J.** Vermelho de Rutênio. **L e M.** Lugol. **A - C.** Caule de *A. cearensis* com 12 meses. **D – F.** Raiz de *S. alata*. **G e I.** Caule de *T. vulgaris*. **K- M.** Raiz de *E. contortisiliquum*. **N - P.** Caule de *Erythrina* spp..

Na raiz de *A. cearensis* a presença de amido foi identificada na região cortical e no xilema secundário das plantas controle, o que não se repetiu nas plantas que passaram pelo fogo, em que o amido estava presente apenas no parênquima associado ao xilema secundário. Além disso, na periderme do caule de *Erythrina* spp, a presença de lipídeos foi identificada pelo emprego do Sudan IV nos indivíduos controle, mas não foi observado no mesmo tecido para as plantas do fogo, que só apresentaram reação positiva na cutícula (Figura 4 O e P).

As substâncias pécnicas conferidas pelo emprego de vermelho de rutênio, estavam presentes em todas as espécies e na maioria dos tecidos, apenas com algumas exceções. As fibras floemáticas presentes em *A. cearensis* e *E. contortisiliquum* são uma das ressalvas da presença de substâncias pécnicas, no caule e raiz dessas leguminosas. Outra exceção foram os raios parenquimáticos e periderme do caule e raiz de *T. vulgaris* que, pelos testes histoquímicos apresentaram compostos fenólicos, mas não substâncias pécnicas (Figura 4 I e J).

Em suma, algumas diferenças anatômicas e químicas foram observadas nas plantas em decorrência da idade e também do experimento de fogo controlado para as leguminosas arbóreas jovens desse estudo, o que nos auxilia a ter mais clareza acerca dos resultados encontrados nos capítulos anteriores.

DISCUSSÃO

A descrição anatômica dos caules, raízes e colos (região de transição entre base caulinar e a raiz, que pode envolver a região da gema cotiledonar) das leguminosas na idade juvenil de seis meses, nos auxilia a entender as características das espécies estudadas que possam determinar ou se relacionar no sucesso destas em sobreviver após distúrbios de fogo. Além disso, a anatomia comparativa entre indivíduos que sobreviveram ao experimento de fogo e seus respectivos controles pode nos trazer respostas acerca da plasticidade adaptativa dessas espécies.

A casca das espécies lenhosas consiste em duas regiões principais, a casca interna, composta por floema secundário (produzida no câmbio vascular) e casca externa, composta por

felema e feloderme (originadas do felogênio) (Esau, 1974). A casca mais externa, principalmente o felema, é responsável pela proteção dos tecidos vivos contra herbivoria, dessecação, geadas e também o fogo (Ferrenberg e Mitton, 2014 e Vines, 1968).

Apesar do grau de proteção de gemas estar relacionada a espessura da casca (Charles-Dominique et al, 2015), características da casca, como a difusividade térmica, está relacionada à sobrevivência das plantas em ambiente inflamáveis, visto que estas podem proteger o câmbio das plantas adultas, impedindo que essas morram após a passagem do fogo (Vines, 1968). Ainda de acordo com Pausas (2014), para plantas adultas, apesar de haver influência de outros fatores, os diferentes regimes de fogo selecionam características e espessuras de cascas diferentes. Sendo assim, a espessura relativa das cascas de diferentes espécies poderia ser um fator para avaliar o regime de fogo local, além de ser um traço funcional a ser avaliado em plantas de ambientes inflamáveis (Lawes et al, 2012).

Hoffmann e colaboradores (2003) descobriram que espécies adultas de ambientes savânicos apresentam casca três vezes mais espessas do que espécies de ambientes florestais, representando uma estratégia de sobrevivência ao fogo. Quando falamos de indivíduos lenhosos jovens, quase nada há descrito na literatura, no entanto, com base no presente estudo, espécies arbóreas jovens, que perdem as estruturas vegetativas aéreas suprimidas pelo fogo, uma vez que ainda estão começando a formar a periderme, só conseguem sobreviver pois apresentam gemas localizadas na região do colo e assim conseguem rebrotar depois do fogo.

Um dos principais motivos já descritos, que levam a morte dos caules quando passam pelo distúrbio do fogo, é a necrose dos tecidos floemáticos e do câmbio. A morte do tecido floemático impede a translocação de fotoassimilados e a formação de novas células fica estagnada com a morte do câmbio, não sendo possível recompor os tecidos floemáticos e xilemáticos (Vines, 1968, Michaletz, & Johnson, 2007, Nobel, 1999). No entanto, outro fator mais recentemente estudado é

a alteração/deformação de células vasculares do xilema que acarretam na redução da condutividade desse tecido (Michaletz et al, 2012 e West, 2016)

Os principais fatores responsáveis pela mortalidade de espécies lenhosas, quando acometidas pelo fogo, relacionadas à baixa condutividade do xilema, foram associados a dois fatores principais: o primeiro é a deformação dos vasos em decorrência de degradação da lignina e hemicelulose que compõem a parede dos vasos e o segundo ao aumento da evaporação dentro dos vasos, o que causa cavitação e por consequência instabilidade na condutância do xilema (Michaletz et al, 2012 e West, 2016 e Bär et al, 2018).

No entanto, espécies com a capacidade de rebrotar após a passagem do fogo apresentam certo grau de plasticidade que está relacionado com alta resistência do xilema, não apenas prevenindo eventos de fogo, como também a seca e outros fatores climáticos (Zeppel et al, 2015 e Schwilk et al, 2016). Alterações na plasticidade do tecido xilemático são analisadas através de uma série de características, entre elas se destaca o diâmetro do vaso e a densidade desses (Fonti et al, 2010). No presente estudo é possível observar uma variação na densidade dos vasos para algumas espécies após o fogo, como no caso de *E. contortisiliquum* e *Erythrina* spp.

As variações entre as plantas que passaram pelo experimento de fogo e o controle também são observadas em relação à análise histoquímica. Os compostos fenólicos são metabólitos secundários produzidos pelas plantas principalmente com a finalidade de defesa (Tsimogiannis & Oreopoulou, 2019). O caule de *A. cearensis*, que possui compostos fenólicos nas plantas controle, não os apresentou nos caules das plantas que rebrotaram, provavelmente por destinar suas reservas energéticas para o desenvolvimento dos brotos após o fogo.

Além das características da casca e plasticidade dos caules como estratégia de sobrevivência das plantas ao fogo, as estruturas subterrâneas destacam-se como uma peça de importância vital para o sucesso das espécies de ambientes inflamáveis (Fidelis et al, 2009). De acordo com Pausas et. al (2018), diversas são as estruturas subterrâneas descritas para plantas

herbáceas em savanas de todo o mundo, tais como tubérculos, rizomas e bulbos. No entanto, a diversidade de estruturas subterrâneas de espécies lenhosas arbóreas é menor, como por exemplo raízes tuberosas e lignotubers (Pausas et al, 2018).

Nas leguminosas arbóreas do presente estudo, três espécies apresentaram raízes tuberosas e três delas raízes simples, que não intumescem até a idade em que foram analisadas. As raízes tuberosas encontradas em *A. cearensis*, *E. contortisiliquum* e *Erythrina* spp. desempenham papel fundamental na capacidade de rebrotamento dessas, pois armazenam carboidratos que são convertidos em energia para o rebrotamento (Pausas et al, 2018 e Silva et al, 2020).

Diversas podem ser as fontes de carboidratos armazenados em raízes tuberosas, como glicose, frutanos, sacarose e mais comumente amido (Bombo et al, 2014, de Moraes et al, 2016). No entanto outros compostos são comuns em raízes de plantas do Cerrado, como os compostos fenólicos, com a finalidade de proteção contra herbivoria e patógenos (Apezato-da-Glória & Cury, 2011 e Silva et al, 2020). A presença de amido foi verificada em todas as espécies desse estudo, mesmo aquelas sem raiz tuberosa (*S. alata*).

Lipídeos são fontes conhecidas de energia para o metabolismo da planta desde a germinação da semente (Kim, 2020). Essa classe de substâncias também já foi investigada como fonte de energia na recuperação das plantas a estresses ambientais (Barros et al, 2020), embora não haja estudos sobre a participação desses na resposta a eventos de fogo. O presente estudo observou que *S. alata* apresentou reação para substâncias lipídicas presentes na raiz das plantas controle, mas não na raiz das plantas que rebrotaram.

Harper (1977) foi o primeiro a definir banco de gemas como uma população oculta de meristemas que diferem da população vegetal estabelecida pelo número de indivíduos. Então, trinta anos depois, Klimešová & Klimeš (2007) aprimoraram a descrição estabelecida por Harper (1977), como: “*todas as gemas com potencial de serem utilizadas na regeneração vegetativa, incluindo aquelas formadas adventiciamente e somente após a lesão*”. Ott, Klimešová e Hartnet (2019)

consideraram banco de gemas subterrâneo como qualquer órgão com gemas abaixo do solo ou gemas basais.

Os bancos de gemas das espécies lenhosas de leguminosas estudadas estavam localizados em uma estrutura conhecida como “root-crown”, definida por Pausas et al (2018) como zona de transição entre a base caulinar e parte subterrânea (raiz), onde ficam gemas dormentes associadas à cicatriz do cotilédone, que podem rebrotar e persistir após algum distúrbio. Apenas *Erythrina* spp. possui gemas cotiledonares localizadas abaixo do solo aos seis meses de idade, devido à sua germinação do tipo hipógea (Pascual et al, 2002). Neste caso a proteção do solo em relação ao calor, associada à raiz tuberosa que armazena carboidratos, acarreta na alta taxa de sucesso da espécie em sobreviver após o fogo.

A localização do banco de gemas no corpo da planta, assim como a profundidade de gemas em relação à casca, determina o grau de proteção dessas (Charles-Dominique et al, 2015), como visto no capítulo anterior. *E. contortisiliquum* não possui gemas associadas à cicatriz cotiledonar, no entanto, com auxílio da anatomia foi possível identificar a presença de gemas completamente recobertas pela casca centímetros abaixo da cicatriz do cotilédone. Essa proteção de grau 3, segundo o estudo de Charles-Dominique et al. (2015), associada com a presença de raiz tuberosa, explica a alta taxa de sobrevivência dessa espécie quando ainda jovem.

As outras quatro espécies estudadas possuem germinação epígea e graus de proteção igual ou inferior a 1 (Cap. 2). Essa combinação de gemas acima do solo e desprotegidas pela casca e raízes que não intumescem para armazenar carboidratos, acarretaram na alta taxa de mortalidade de algumas espécies do nosso estudo como *T. vulgaris* e *S. adstringens*. Já *S. alata* possui uma estratégia diferente, descrita por Charles-Dominique et al. (2015) para gemas axilares, que é a presença de gemas acessórias. Segundo Borrows et al. (2008), à medida que o número de gemas aumenta, sem que a planta precise desprender mais energia em casca para protegê-las, melhor a capacidade de rebrotamento após a passagem do fogo.

Com o desenvolvimento do caule que rebrotou após a passagem do fogo, este envolve a parte mais basal do caule carbonizado, formando uma unidade na base caulinar, o que caracterizamos neste estudo como autoenxertia natural da planta ocasionada em plantas que passaram por distúrbios.

CONCLUSÃO

Concluimos que as espécies de Fabaceae apresentaram alguma plasticidade relacionada ao distúrbio do fogo. No caule, destacam-se a espessura da casca bem como a densidade dos vasos no xilema para algumas espécies, enquanto as raízes não apresentaram alterações após o fogo. O banco de gemas das leguminosas lenhosas jovens do Cerrado fica localizado na região do colo (root-crown) para cinco espécies estudadas. As estruturas subterrâneas presentes nas espécies estudadas são raízes, no entanto *A. cearensis*, *E. contortisiliquum* e *Erythrina* spp. possuem a capacidade de tuberizar e armazenar amido, principal fonte de reservas energéticas utilizadas pelas cinco espécies do presente estudo.

REFERÊNCIAS

- Appezato-da-Glória, B., & Cury, G. (2011). Morpho-anatomical features of underground systems in six Asteraceae species from the Brazilian Cerrado. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **83**:981-992.
- Appezato-da-Glória B. (2015). Morfologia de sistemas subterrâneos de plantas. Morphology of plant underground systems. 3i Editora: Belo Horizonte, Brasil.
- Bär, A., Nardini, A., & Mayr, S. (2018). Post-fire effects in xylem hydraulics of *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica*. *New Phytologist*, **217**(4), 1484-1493.
- Barros, J. A., Siqueira, J. A., Cavalcanti, J. H., Araújo, W. L., & Avin-Wittenberg, T. (2020). Multifaceted roles of plant autophagy in lipid and energy metabolism. *Trends in plant science*, **25**(11), 1141-1153.
- Beckage, B., Gross, L., & Platt, W. (2011). Grass feedbacks on fire stabilize savannas. *Ecological Modelling*, **222**, 2227-2233.
- Belmonte-Urena, L. J., Garrido-Cardenas, J. A., & Camacho-Ferre, F. (2020). Analysis of world research on grafting in horticultural plants. *HortScience*. **55**(1), 112-120
- Berlyn G.P. & Miksche J.P. (1976) Botanical microtechnique and cytochemistry. Iowa State University Press: Ames.
- Bombo, A. B., de Oliveira, T. S., da Silva Santos de Oliveira, A., Rehder, V. L. G., & Appezato-da-Glória, B. (2014). Anatomy and essential oil composition of the underground systems of three species of *Aldama La Llave* (Asteraceae). *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 115-125.
- Bravo, S., Bogino, S., Leiva, M., Lepiscopo, M., Cendoya, M. A., Kunst, C., & Biurrún, F. (2021). Wood anatomy, fire wounds and dendrochronological potential of *Prosopis pugionata* Burkart (Fabaceae) in arid Argentine Chaco. *IAWA Journal*. **42**(2), 101-110.
- Bukatsch F. (1972). Bemerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-Safranin. *Mikrokosmos*, **61**: 255.
- Burger L.M. & Richter H.G. (1991) Anatomia da Madeira. Nobel: São Paulo.
- Burrows, GE, Hornby, SK, Waters, DA, Bellairs, SM, Prior, LD e Bowman, DMJS (2008). Anatomia da axila foliar e reservas de gemas em 21 espécies de Myrtaceae do norte da Austrália. *International Journal of Plant Sciences*. **169**(9), 1174-1186.
- Charles-Dominique T., Beckett H., Midgley G. F., Bond W. J. (2015) Bud protection: a key trait for species sorting in a forest–savanna mosaic. *New Phytologist*, **207**: 1052-1060.
- Chiminazzo M. A., Bombo A. B., Charles-Dominique T., Fidelis A. (2021) Your best buds are worth protecting: variation in bud protection in a fire-prone cerrado system. **Functional Ecology** **35**(11) 2424-2434, 3 out. 2021.

- de Moraes, M. G., de Carvalho, M. A. M., Franco, A. C., Pollock, C. J., & Figueiredo-Ribeiro, R. D. C. L. (2016). Fire and drought: soluble carbohydrate storage and survival mechanisms in herbaceous plants from the Cerrado. *BioScience*, **66**(2), 107-117.
- Esau, K. (1974). *Anatomia das plantas com sementes*. Editora Blucher.
- Ferrenberg S., Mitton JB. (2014) Smooth bark surfaces can defend trees against insect attack: resurrecting a 'slippery' hypothesis. *Functional Ecology*. **28**(4):837-45
- Fidelis A., Appezzato-da-Glória B. & Pfadenhauer J. (2009). A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. Campos Sulinos. 88
- Fidelis, A., & Pivello, V. R. (2011). Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*(2), 12-25.
- Fidelis A., Rosalem P., Zanzarini V., Camargos L. S. & Martins, A. R. (2019). From ashes to flowers. *Ecology*. 10:1-4.
- Figueiredo R. C. L. (1972). Sobre a anatomia dos órgãos vegetativos de *Ocimum nudicaule* Benth. (Labiatae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 44: 549-570.
- Fonti, P., von Arx, G., García-González, I., Eilmann, B., Sass-Klaassen, U., Gärtner, H., & Eckstein, D. (2010). Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist*, **185**(1), 42-53.
- Franco A. C. (2002). Ecophysiology of woody plants. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna, 178-200.
- Giuliani, C., Lazzaro, L., Calamassi, R., Fico, G., Foggi, B., & Mariotti Lippi, M. (2019). Induced water stress affects seed germination response and root anatomy in *Robinia pseudoacacia* (Fabaceae). *Trees*. **33**(6), 1627-1638.
- Gostin, I. N. (2009). Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. **37**(2), 57-63.
- Harper, JL (1977). Biologia populacional de plantas. *Biologia populacional de plantas*.
- Hoffmann W. A. & Moreira A. G. (2002). The role of fire in population dynamics of woody plants. The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna, 159-177
- Hoffmann, W. A., Orthen, B., & Do Nascimento, P. K. V. (2003). Comparative fire ecology of tropical savanna and forest trees. *Functional Ecology*, 720-726.
- Hoffmann, W. A., Geiger, E. L., Gotsch, S. G., Rossatto, D. R., Silva, L. C., Lau, O. L., Haridasan, M. and Franco, A. C. (2012), Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters*, 15: 759-768.
- Jensen W. A. (1962). Botanical histochemistry: principle and practice.

- Johansen D. A. (1940). Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Company, Inc: London; pp 15-27.
- Kim, H. U. (2020). Lipid metabolism in plants. *Plants*. **9**(7), 871.
- Klimešová J., Klimeš L. (2007). Bud banks and their role in vegetative regeneration—a literature review and proposal for simple classification and assessment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **8**(3), 115-129.
- Lamont, B. B., & He, T. (2017). Fire-proneness as a prerequisite for the evolution of fire- adapted traits. *Trends in Plant Science*, **22**(4), 278-288.
- Lawes, M. J., Adie, H., Russell-Smith, J., Murphy, B., & Midgley, J. J. (2011). How do small savanna trees avoid stem mortality by fire? The roles of stem diameter, height and bark thickness. *Ecosphere*. **2**(4), 1-13.
- Lawes M. J., Midgley J. J., Clarke P. J. (2013) Costs and benefits of relative bark thickness in relation to fire damage: a savanna/forest contrast. *Journal of Ecology*. **101**(2):517-24.
- Legume Phylogeny Working Group (LPWG). (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *Taxon*, **66**: 44-77.
- Lewis, G., Schrire, B., Mackinder, B. & Lock, M. (eds.), (2005). Legumes of the world. Richmond, U.K.: Royal Botanic Gardens, Kew.
- Michaletz, S. T., & Johnson, E. A. (2007). How forest fires kill trees: a review of the fundamental biophysical processes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, **22**(6), 500-515.
- Michaletz, ST, Johnson, EA, & Tyree, MT (2012). Moving beyond the cambium necrosis hypothesis of post-fire tree mortality: cavitation and deformation of xylem in forest fires. *New Phytologist*, **194**(1), 254-263.
- Milanez C. R. D. & Moraes-Dallaqua M. A. 2003. Ontogênese do Sistema subterrâneo de *Pachyrhizus ahipa* (Weed.) Parodi (Fabaceae). *Revista brasileira de Botânica* **26**: 415- 427.
- Nobel, P. S. (1999). *Physicochemical & environmental plant physiology*. Academic press.
- Ott, J. P., Klimešová, J., & Hartnett, D. C. (2019). The ecology and significance of below-ground bud banks in plants. *Annals of Botany*, **123**(7), 1099-1118.
- Pascual, G., Molinas, M., & Verdaguer, D. (2002). Comparative anatomical analysis of the cotyledonary region in three Mediterranean Basin Quercus (Fagaceae). *American Journal of Botany*, **89**(3), 383-392.
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, **59**(7), 593-601. doi:10.1525/bio.2009.59.7.10
- Pausas, J. G. (2015). Bark thickness and fire regime. *Functional Ecology*, **29**(3), 315-327.

- Pausas J.G., Lamont B.B., Paula S., Appezzato-da-Glória B. & Fidelis A. (2018) Unearthing belowground bud banks in fire prone ecosystems. *New Phytologist*, 217: 1435-1448.
- Paviani T. I. (1972). Estudo morfológico e anatômico de *Brasilia sickii* G.M. Barroso: I. *Revista Brasileira de Biologia*, 32: 451-472.
- Perumal, R., Prabhu, M., Kannan, M., & Srinivasan, S. (2021). Taxonomy and Grafting of Ornamental Cacti: A Review. *Agricultural Reviews*. **42**(4), 445-449.
- Pilon, NA, Cava, MG, Hoffmann, WA, Abreu, RC, Fidelis, A., & Durigan, G. (2021). A diversidade de estratégias de regeneração pós-fogo no cerrado. *Journal of Ecology*, **109**(1), 154-166.
- Rissi M. N., Baeza M. J., Gorgone-Barbosa E., Zupo T., Fidelis A. (2017). Does season affect fire behaviour in the Cerrado? *International Journal of Wildland Fire*, 26: 427-433.
- Sakai W. S. (1973). Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue O. *Stain technology*, 48: 247-249.
- Sankaran, M., Hanan, N. P., Scholes, R. J., Ratnam, J., Augustine, D. J., Cade, B. S., Zambatis, N. (2005). Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, 438(7069), 846-849. doi:10.1038/nature04070
- Schwilk, D. W., Brown, T. E., Lackey, R., & Willms, J. (2016). Post-fire resprouting oaks (genus: *Quercus*) exhibit plasticity in xylem vulnerability to drought. *Plant ecology*, **217**(6), 697-710
- Siebert, F., Bombo, A. B., Archibald, S., Greve, M., & Fidelis, A. (2019). Introducing bud bank and below-ground plant organ research to South Africa: Report on a workshop and the way forward. *South African Journal of Science*, **115**(11-12), 1-2.
- Silva, G. S., Ferraro, A., Ogando, F. I., Aguiar, C. L., & Appezzato-da-Gloria, B. (2020). Structures related to resprouting potential of two Myrtaceae species from Cerrado: morpho-anatomical and chemical studies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92.
- Silva, M. S., Leite, K. R. B., & Saba, M. D. (2012). Anatomy of vegetative organs of *Hymenaea martiana* Hayne (Fabaceae-Caesalpinioideae): a species of medicinal use in Caetitê-Bahia State, Brazil. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s. 14, 673-679.
- Silvério Pena Bento, J. P., Scremin-Dias, E., Alves, F. M., Mansano, V. D. F., & Sartori, Â. L. B. (2020). Phylogenetic implications of the anatomical study of the Amburaneae clade (Fabaceae: Faboideae). *Botanical Journal of the Linnean Society*. **194**(1), 69-83.
- Smit, I. P. J., Asner, G. P., Govender, N., Kennedy-Bowdoin, T., Knapp, D. E., & Jacobson, J. (2010). Effects of fire on woody vegetation structure in African savanna. *Ecological Applications*, 20(7), 1865-1875. doi:10.1890/09-0929.1

- Tekin, M., & Yilmaz, G. (2015). Comparative root and stem anatomy of four rare *Onobrychis* Mill. (Fabaceae) Taxa Endemic in Turkey. *Notulae Scientia Biologicae*. **7**(3), 308-312.
- Tsimogiannis, D., & Oreopoulou, V. (2019). Classification of phenolic compounds in plants. In *Polyphenols in plants*. 263-284.
- Vines R. G. (1968) Heat transfer through bark and the resistance of trees to fire. *Australian Journal of Botany*. **16**, 499-514.
- Zeppel, M. J., Harrison, S. P., Adams, H. D., Kelley, D. I., Li, G., Tissue, D. T., ... & McDowell, N. G. (2015). Drought and resprouting plants. *New Phytologist*, **206**(2), 583-589.
- Zoric, L., Merkulov, L., Lukovic, J., & Boza, P. (2012). Comparative analysis of qualitative anatomical characters of *Trifolium* L. (Fabaceae) and their taxonomic implications: preliminary results. *Plant Systematics and Evolution*. **298**(1), 205-219.
- West, AG, Nel, JA, Bond, WJ e Midgley, JJ (2016). Experimental evidence for heat plume-induced cavitation and xylem deformation as a mechanism of rapid post-fire tree mortality. *New Phytologist*, **211**(3), 828-838.

CONCLUSÃO GERAL

Todas as espécies estudadas apresentaram rebrotamento após o fogo, mas apenas em quatro espécies os brotos sobreviveram e se desenvolveram ao longo de seis meses. Das quatro espécies que sobreviveram ao fogo, duas (*E. contortisiliquum* e *Erythrina* spp.) apresentaram taxa de sucesso superior a 50% e duas (*A. cearensis* e *S. alata*) taxa de sucesso inferior a 50%.

Com exceção de *A. cearensis*, que teve rebrota de gemas axilares aéreas, todas as espécies estudadas tiveram rebrotamento do colo da raiz (root-crown). Gemas abaixo do solo foram observadas apenas em *Erythrina* spp. que possui cotilédones hipógeos. Todas as gemas já estavam presentes nas espécies aos seis meses de idade, variando no grau e proteção dessas em relação à casca, sendo *E. contortisiliquum* a espécie com maior grau de proteção desse estudo.

O fogo influencia na plasticidade das plantas e por consequência gera algumas alterações em relação à arquitetura das espécies como a altura da inserção das folhas basais e diâmetro e altura do caule, variando de espécie para espécie. Quanto à fonte de energia utilizada pelas espécies para rebrotar após o fogo, a principal foi amido presente nas raízes tuberosas de *A. cearensis*, *E. contortisiliquum* e *Erythrina* spp..

Dessa forma conclui-se que plantas jovens com seis meses de algumas espécies da família Fabaceae possuem a capacidade de rebrotar após o fogo, a partir de gemas já presentes aos seis meses de idade, utilizando fonte de carboidratos presentes nas estruturas subterrâneas dessas espécies.