
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

GABRIEL RODRIGUES DA SILVA

**A EXCLUSÃO DO FOGO PODE LEVAR AO
ADENSAMENTO LENHOSO DE SAVANAS NO
CERRADO?**



Rio Claro - SP
2024

GABRIEL RODRIGUES DA SILVA

**A EXCLUSÃO DO FOGO PODE LEVAR AO ADENSAMENTO
LENHOSO DE SAVANAS NO CERRADO?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção dos graus de Bacharel e de
Licenciado em Ciências Biológicas

Orientador: Profa Assoc. Alessandra Tomaselli Fidelis

Coorientador: M. Sc. Cassy Anne dos Santos Rodrigues

Rio Claro - SP
2024

S586e Silva, Gabriel Rodrigues Da
A exclusão do fogo pode levar ao adensamento lenhoso de savanas no Cerrado? / Gabriel Rodrigues Da Silva. -- Rio Claro, 2024
32 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientadora: Alessandra Fidelis
Coorientadora: Cassy Anne Rodrigues

1. Ecologia do Cerrado. 2. Fogo e ecologia. 3. Ecologia vegetal. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

GABRIEL RODRIGUES DA SILVA

**A EXCLUSÃO DO FOGO PODE LEVAR AO ADENSAMENTO
LENHOSO DE SAVANAS NO CERRADO?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção dos graus de Bacharel e de
Licenciado em Ciências Biológicas

BANCA EXAMINADORA:

Profa Dra. Alessandra Fidelis (orientadora)
M.Sc. Cassy Anne Rodrigues (coorientadora)
Prof. Dr. Julio Antonio Lombardi
M.Sc. Vagner Augusto Zanzarini

Aprovado em: 04 de Junho de 2024

Assinatura do discente

Assinatura do(a) orientador(a)

Assinatura do(a) coorientador(a)

Dedico àqueles que pesquisam, habitam e amam o Cerrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, Edilaine e Laercio, pelo apoio e incentivo permanente. Tenho certeza que sem a ajuda de vocês minhas conquistas não seriam alcançadas com o mesmo foco e entusiasmo que tive. Vocês me motivam!

A meus avós, vó Rute (*in memoriam*), vô Josias e vô Natal, e minha bisavó (vó Zoé) agradeço pelo carinho e incentivo.

À minha irmã, Ingrid, agradeço pela nossa irmandade e cumplicidade nos momentos certos.

Durante toda a graduação agradeço pela companhia e amizade da seguinte turminha: Bia, Duda, Gi, Jheni, Lay, Mari, Séte. Todas elas de alguma forma me ajudaram nos momentos de tristeza, sendo conforto, e nos momentos de alegria, garantindo diversão. Sem elas minha vida universitária não seria a mesma.

Não posso deixar de agradecer a todos meus professores que, em suas respectivas áreas, contribuíram para minha formação como biólogo e professor. Apesar dos semestres exaustivos e das dificuldades, as aulas da grande maioria deles me servia como lembrete constante do motivo de ter escolhido a Biologia. Tentarei citar alguns deles sem qualquer descrédito aos demais: Adelita Paoli, Alessandra Coan, Alessandra Fidelis, Aline Oriani, Bernadete Benetti, Claudio José Von Zuben, Fabio Akashi Hernandez, Gustavo Habermann, Pedro Moraes e Roberto Goitein.

Agradeço especialmente à minha orientadora Alessandra Fidelis por ter aceitado me orientar e por ter me confiado a responsabilidade de desenvolver um projeto de pesquisa completo. Tenho enorme admiração pela professora e pesquisadora que você, Ale! Obrigado por toda ajuda.

Agradeço na mesma intensidade à minha co-orientadora, Cassy Anne Rodrigues pelo apoio durante todo o desenvolvimento do trabalho. Nossas discussões foram essenciais para meu entendimento do tema e dos processos da

pesquisa científica. Também estendo minha admiração por você, Cassy! Muito Obrigado.

Agradeço aos membros do LEVEG (Laboratório de Ecologia Vegetal) pelas contribuições. Em especial pela ajuda durante os trabalhos de campo, agradeço à Gabriela Dezotti e ao Vagner Zanzarini.

Pela ajuda na identificação de algumas espécies de plantas coletadas, agradeço também ao professor Julio Lombardi.

Gostaria ainda de agradecer aos membros da LABot (Liga Acadêmica de Botânica da Unesp Rio Claro), especialmente aos membros fundadores, que toparam o desafio de criar do zero a liga e fortalecer a comunidade de discentes apaixonados pelo estudo das plantas no campus. Desejo que o grupo prospere cada vez mais.

Aos companheiros de sala, agradeço e parablenizo todos da minha turma “CBN 018”, homenageando e tentando honrar em especial nossa companheira Laura Comerlatti (*in memoriam*) que infelizmente nos deixou em sua plena juventude.

Agradeço aos funcionários técnicos-administrativos do Instituto de Biociências da Unesp Rio Claro (IB) pela disposição e apoio para o desenvolvimento das minhas atividades acadêmicas (biblioteca, transporte para saídas de campo, ajuda nas burocracias e documentações, organização dos espaços usados, entre outras).

Processos nº 2023/05198-5 e nº 2015/06743-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

RESUMO

As fisionomias campestres e savânicas do Cerrado se mantêm abertas devido à presença do fogo, que ocorre em alta frequência nessas áreas. A frequência de fogo influencia a estrutura das comunidades vegetais, assim a exclusão do fogo pode aumentar a densidade de indivíduos lenhosos em um processo conhecido como adensamento lenhoso. Esse fenômeno, além de descaracterizar as fisionomias tipicamente abertas, pode levar a redução da diversidade de plantas do estrato herbáceo-arbustivo. Desse modo, o principal objetivo deste estudo foi investigar se a exclusão do fogo pode levar ao aumento da altura, área basal, número de indivíduos e espécies lenhosas em fisionomias abertas de Cerrado. Para isso foram amostradas áreas de campo sujo de Cerrado com diferentes frequências de fogo (queimadas anualmente e bienalmente desde 2013, e excluídas do fogo desde 2011), delimitadas por parcelas de 30x30m, com três réplicas por tratamento. Os levantamentos foram realizados em subparcelas de 10x10m (nove subparcelas/parcela, três parcelas/tratamento). Foi possível registrar a ocorrência de 43 espécies de plantas lenhosas $\geq 1,5$ m na área de estudo, sendo algumas exclusivas de pelo menos um dos tratamentos (frequência anual, bienal e exclusão). O número de espécies e de indivíduos lenhosos foram significativamente maiores no tratamento de exclusão de fogo comparados aos observados nos demais tratamentos. Quanto à altura e área basal, ambas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, há uma tendência de aumento da área basal nas parcelas excluídas do fogo. Conclui-se portanto que diferentes frequências de fogo levam a mudanças na estrutura das comunidades vegetais de fisionomias abertas, principalmente no que diz respeito à quantidade de indivíduos e espécies lenhosas. Além disso, o tempo de 11 anos de exclusão de fogo se mostrou suficiente para observar um processo de adensamento lenhoso dessas áreas, ainda que em estágio inicial.

Palavras-chave: adensamento lenhoso; Cerrado; frequência de fogo; exclusão do fogo; queima anual; queima bienal.

ABSTRACT

The grassland and savannas of the Cerrado remain open due to frequent fires in these areas. Fire frequency influences the structure of plant communities. Fire exclusion can increase the density of woody individuals in a process known as woody encroachment. Woody encroachment converts open into closed physiognomies and can reduce the species diversity in the herbaceous layer. Therefore, the main objective of this study was to investigate whether fire exclusion can lead to an increase in height, basal area, number of individuals, and woody species in open savannas of the Cerrado, characterizing woody encroachment.. For this purpose, we sampled *campo sujo* areas of Cerrado with different fire frequencies (annual and biennial burns since 2013, and fire exclusion since 2011) delimited by 30x30m plots, with three replicates per treatment. The survey was conducted in 10x10 subplots (nine subplots/plot, three plots/treatment). It was recorded 43 species of woody plants ≥ 1.5 m in the study area, some were exclusive to at least one of the treatments (annual and biennial fires and fire exclusion). The woody species and individual numbers were significantly higher in the fire exclusion treatment than in the other treatments. As for height and basal area, both showed no significant differences among treatments. However, there was a tendency for basal area to increase in fire exclusion plots. We concluded that different fire frequencies lead to changes in the structure of plant communities in open savannas, mainly regarding the number of individuals and woody species. Furthermore, the 11-year fire exclusion period proved sufficient to observe a process of woody encroachment in these areas.

Keywords: woody encroachment; Cerrado; fire frequency; fire exclusion; annual fires; biennial fires.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVOS.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Área de estudo.....	12
3.2. Delineamento experimental.....	13
3.3. Análise de dados.....	16
4 RESULTADOS.....	16
4.1 Identificação das espécies lenhosas.....	16
4.2. Variáveis (altura, área basal, número de espécies e de indivíduos).....	18
5 DISCUSSÃO.....	21
6 CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS.....	24

1 INTRODUÇÃO

O fogo é um fator chave para a distribuição e manutenção de diversos ecossistemas ao redor do mundo, sendo essencial na determinação da composição e estrutura dos chamados “ecossistemas dependentes do fogo” (fire-prone ecosystems, Hardesty *et al.*, 2005; Bond *et al.*, 2005a). Entre os ecossistemas dependentes do fogo, estão os ambientes campestres e savânicos, como as savanas encontradas nas regiões tropicais e subtropicais do globo (Buisson *et al.*, 2019; Buisson *et al.*, 2022). As savanas são definidas estruturalmente pela combinação de um estrato herbáceo contínuo composto principalmente por gramíneas C4, herbáceas e subarbustos, com espécies lenhosas distribuídas de forma esparsa (Scholes & Archer, 1997). Além disso, possuem o fogo (consumidor abiótico) e a herbivoria, em especial de grandes mamíferos (consumidor biótico), como distúrbios típicos (Bond, 2005b) interagindo evolutivamente e ecologicamente no controle da vegetação (Archibald *et al.*, 2016).

Savanas e campos tropicais mantidos pelo distúrbio, no geral, são caracterizadas por estarem em locais com o potencial climático propício para sustentar uma vegetação florestal (Bond *et al.*, 2005a). A disponibilidade de água pode ser um fator determinante na limitação ao crescimento da cobertura de árvores nas savanas quando estas têm precipitação média anual inferior a 650 mm (Sankaran *et al.*, 2005). Quando não há limitação edáfica, ou de precipitação, as fisionomias se mantêm abertas devido à presença do fogo e ou herbívoros (Bond *et al.*, 2005a; Buisson *et al.*, 2022).

No Brasil, as savanas tropicais estão localizadas no Cerrado (Walter *et al.*, 2008). Ele é o segundo domínio fitogeográfico com maior número de espécies e endemismo vegetal entre os biomas brasileiros (Zappi *et al.*, 2015) e é considerado um hotspot de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000). Sua diversidade encontra-se especialmente no estrato herbáceo-arbustivo (Zappi *et al.*, 2015) uma vez que compreendem de 75 a 80% das espécies do bioma (Oliveira & Marquis, 2002). A maior diversificação das espécies lenhosas do Cerrado ocorreu há cerca de 4 milhões de anos, mesmo período de expansão dos biomas savânicos globais com o

domínio das gramíneas do tipo C4 e presença do fogo, características desse ambiente (Simon *et al.*, 2009). Portanto, as plantas do Cerrado possuem na sua maioria atributos relacionados ao fogo, como por exemplo a floração pós-fogo (Fidelis & Zironi, 2021); a capacidade de rebrota, principalmente de estruturas subterrâneas portadores de gemas e reservas (Clarke *et al.*, 2013; Zupo *et al.*, 2021; Bombo *et al.*, 2022); além de alta inflamabilidade (Zanzarini *et al.*, 2022). Porém, as plantas são adaptadas ao regime de fogo local (Keeley *et al.*, 2011) ou seja, à frequência, época de queima, intensidade e a extensão (Gill, 1975; Whelan, 1995), sob os quais evoluíram. Portanto, mudanças nesses fatores podem influenciar as comunidades vegetais presentes nessas áreas (Whelan, 1995). No Cerrado a incidência frequente de raios durante o início e fim da estação chuvosa é a principal causa natural de fogo, enquanto que queimadas no meio da estação seca são antrópicas (Ramos-Neto & Pivello, 2000; Pivello, 2011).

A frequência de fogo, ou seja, quantas vezes o fogo ocorre num local em um período de tempo (Gill, 1975) influencia a estrutura das comunidades vegetais: se o fogo é frequente, haverá maior abundância de espécies herbáceas, mantendo assim ecossistemas campestres e savânicos abertos (Bond, 2019; Buisson *et al.*, 2019). As savanas tropicais são ambientes com alta frequência de fogo (Trollope, 1982, Archibald *et al.*, 2013). O intervalo entre cada queima é caracterizado pelo acúmulo de material combustível, principalmente durante a estação chuvosa, que seca nas estações secas prolongadas e bem marcadas (Govender *et al.*, 2006). Eiten (1972) destacou que alterações nas frequências de fogo podem influenciar na mudança das fisionomias do Cerrado dependendo das seguintes variações locais: o vigor com que as plantas rebrotam pós-queima; o grau de proteção dos indivíduos lenhosos; e a quantidade de material combustível (composto principalmente por gramíneas) que conseguem crescer, secar e acumular entre as queimas.

Por outro lado, a exclusão do fogo pode ter consequências negativas como a perda de biodiversidade (Abreu *et al.*, 2017) e a descaracterização das fisionomia tipicamente abertas, com o aumento da cobertura de espécies lenhosas (Pinheiro & Durigan, 2009) e com o estabelecimento de espécies sensíveis ao fogo (Moreira *et al.*, 2000). Nesse sentido, a exclusão do fogo pode levar a mudanças estruturais e

funcionais dos ecossistemas abertos, convertendo-os em fisionomias mais fechadas em um processo conhecido como adensamento lenhoso ("woody encroachment", Stevens *et al.*, 2017). Este fenômeno pode ser definido como o aumento da biomassa, da densidade ou da cobertura de lenhosas (Stevens *et al.*, 2017). Dentre os biomas tropicais, as savanas parecem ser as mais propensas a mudanças desse tipo (Parr *et al.*, 2014). Apesar de existir uma tendência global do fenômeno de adensamento, existe uma prevalência de variação regional do fenômeno, sendo mais rápida nas regiões savânicas da América do Sul como é o caso do Cerrado (Stevens *et al.*, 2017).

A supressão do fogo em áreas abertas de Cerrado, apesar de apresentar um aumento do estoque de carbono aéreo como resultado do aumento do estrato lenhoso, leva a uma redução da riqueza de espécies de plantas do estrato herbáceo-arbustivo, com perda de até 80% de espécies de savana (Abreu *et al.*, 2017). As espécies de herbáceas parecem ser ainda mais sensíveis a depender do grau do adensamento, apesar de já serem afetadas negativamente mesmo com níveis pequenos de adensamento (Wieczorkowski & Lehmann, 2022). Em áreas de Cerrado onde a pressão antrópica é mais intensa a perda da diversidade de plantas nativas devido o adensamento pode chegar a 50% (De Souza *et al.*, 2022).

Uma vez que a estrutura e composição das comunidades vegetais do Cerrado são influenciadas pela ocorrência do fogo, sua frequência é um importante parâmetro a ser avaliado, contribuindo para a compreensão das mudanças que vêm ocorrendo nas diferentes fisionomias e para a conservação das mesmas.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo foi investigar se a exclusão do fogo poderia levar a mudanças na estrutura e diversidade de espécies das comunidades de plantas lenhosas de áreas abertas de savana tropical comparada a queimadas frequentes. Para isso buscou-se responder a seguinte pergunta: Diferentes frequências de fogo (queimadas anuais, bienais e exclusão do fogo) levam a diferentes quantidades de espécies e indivíduos lenhosos, altura e área basal médias de comunidades vegetais de campo sujo de Cerrado?

Hipótese: A exclusão do fogo promoverá uma maior quantidade de indivíduos e espécies lenhosas, além do aumento da área basal e da altura média da comunidade lenhosa, comparada às queimadas frequentes, uma vez que o fogo é um fator limitante para o adensamento lenhoso.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na Reserva Natural Serra do Tombador (RNST), na região Central do Brasil (Cavalcante, Goiás, 47° 44' e 47° 53' W e 13° 35' e 13° 43' S). O local é uma RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural) desde 2009 e possui 8.730 ha (Antonelli-Filho, 2011). O clima é caracterizado como tropical, com estação seca no inverno e chuvosa no verão, com precipitação anual média de 1.500 a 1.750 mm e temperaturas médias máximas entre 32° e 36° e temperaturas mínimas entre 8° e 14°. A vegetação é caracterizada por um mosaico de paisagens com fisionomias típicas do Cerrado, desde o Campo Limpo ao Cerrado sensu stricto, predominando as paisagens savânicas (Antonelli-Filho, 2011).

A região possuía alta frequência de fogo antes de se tornar uma RPPN (com grandes eventos de fogo a cada 3 anos). Porém, com a criação da unidade de conservação, a política de fogo-zero foi implementada, levando a uma diminuição da frequência de fogo e da área total queimada (Daldegan *et al.*, 2014).

O estudo foi desenvolvido em área de campo sujo (Figura 1), caracterizada pela presença de um estrato herbáceo contínuo, dominado por gramíneas C4 e pequenas herbáceas, arbustos esparsos, e poucos indivíduos menores de espécies arbóreas (Ribeiro & Walter, 1998). São dominantes nesta área as seguintes espécies: *Aristida setifolia* Kunth; *Axonopus aureus* P. Beauv.; *Elionurus muticus* (Spreng.) Kuntze; *Mesosetum ferrugineum* (Trin.) Chase; *Oncorachis ramosa* (Zuloaga & Soderstr.) Morrone & Zuloaga; e *Paspalum pectinatum* Nees ex Trin. (Rissi *et al.*, 2017).

Figura 1 — Área de campo sujo na Reserva Natural Serra do Tombador (RNST), Brasil Central.



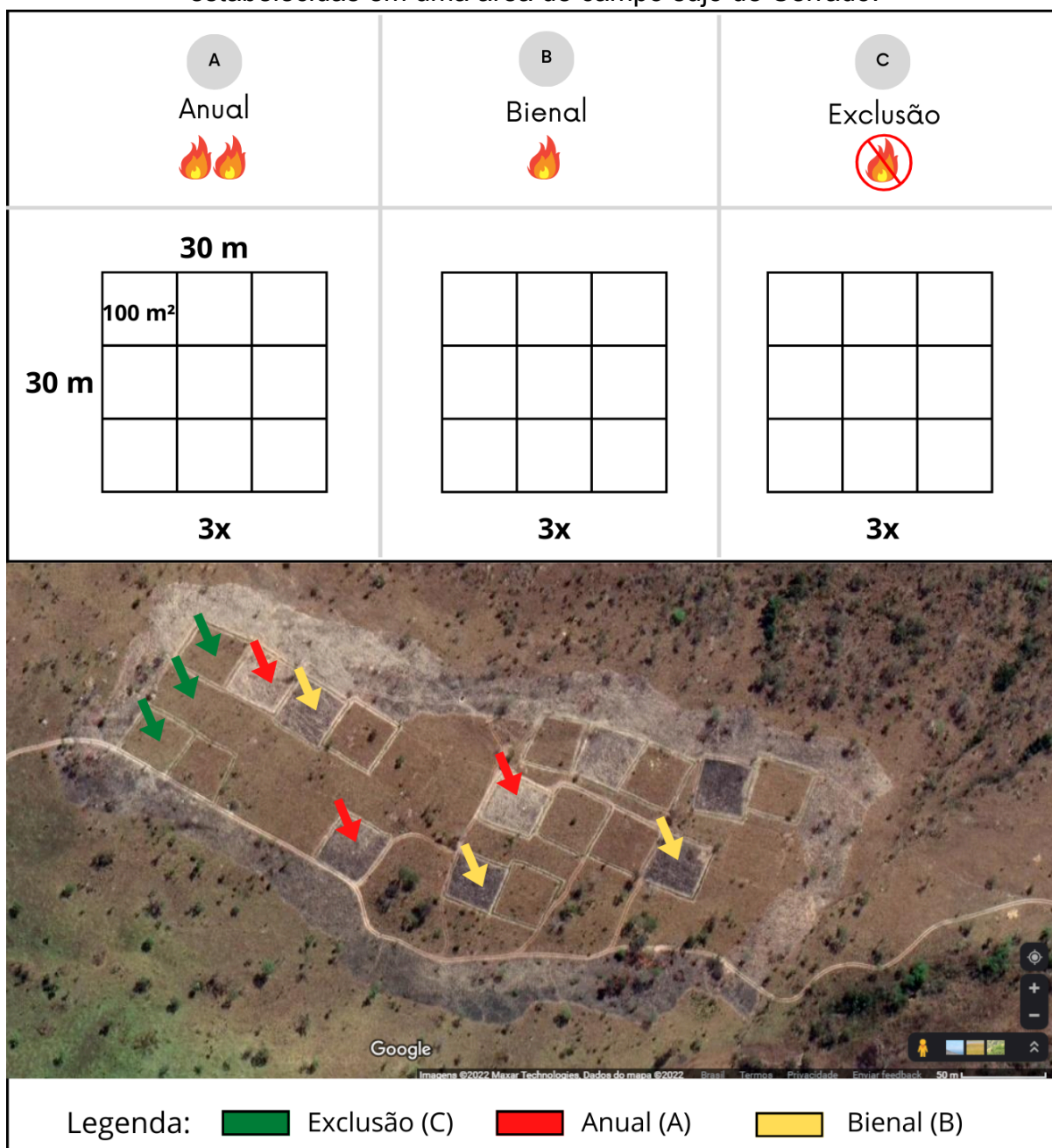
Fonte: Laboratório de Ecologia Vegetal (LEVEG)

3.2. Delineamento experimental

Para amostrar áreas com diferentes frequências de fogo, foram utilizadas parcelas experimentais de 30x30m em uma área de campo sujo da RNST. As parcelas foram estabelecidas em 2013 quando os experimentos com fogo começaram, após um incêndio natural ocorrido dois anos antes (2011, Rissi *et al.*, 2017; Rodrigues *et al.*, 2021). Três tratamentos distintos foram analisados: queima anual (em julho, desde 2013, total de nove queimadas); queima bienal (em julho, queimadas em 2013, 2015, 2017, 2019 e 2021); exclusão de fogo (desde 2011).

A coleta de dados foi realizada durante a estação chuvosa de 2023. Os levantamentos foram realizados em subparcelas menores de 100 m² (10x10m) dentro de cada parcela experimental (nove suparcelas/parcela x três parcelas/tratamento x três tratamentos = 81 subparcelas, Figura 2).

Figura 2 — Esquematização e imagem de satélite das parcelas com os três diferentes tratamentos de frequência de fogo: Exclusão (C); Anual (A); e Bienal (B) estabelecidas em uma área de campo sujo de Cerrado.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para caracterizar a comunidade de plantas lenhosas em cada uma das unidades amostrais, foram medidas as seguintes variáveis: número de espécies e número de indivíduos lenhosos com altura igual ou acima de 1,5m, altura estimada (cm) e perímetro a 10 cm do solo de cada indivíduo. Os indivíduos amostrados foram identificados em campo sempre que possível (para os demais foram realizadas coletas de material para posterior identificação a nível de espécie). Para caracterizar

as comunidades do estrato herbáceo de cada tratamento foram amostradas, através de estimativa visual dentro de cada subparcela (10x10m), a cobertura de graminóides, de solo nu e de biomassa morta (Figura 3).

Figura 3 — Montagem do experimento. (A) Demarcação das subparcelas; (B) Marcação dos indivíduos e medição do perímetro a 10 cm do solo; (C) Observações sendo realizadas nas parcelas estabelecidas em área de campo sujo de Cerrado na região central do Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3. Análise de dados

Para comparar as variáveis amostradas (altura, área basal, número de indivíduos e de espécies lenhosas) entre os diferentes tratamentos, foram realizados modelos lineares generalizados mistos (GLMM) considerando o tratamento como fator fixo e a parcela como fator aleatório. A mesma análise foi utilizada para comparar as coberturas de gramíneas, solo nu e biomassa morta entre os tratamentos. Estas análises foram conduzidas no Programa R (R Development Core Team, 2021), utilizando-se a função “glmer” disponível no pacote lme4 (Bates *et al.*, 2015). As diferenças significativas entre os pares de tratamentos foram avaliadas por meio da realização do teste de Tukey usando a função “emmeans”, disponível no pacote emmeans (Lenth, 2021).

4 RESULTADOS

4.1 Identificação das espécies lenhosas

Foram encontradas 43 espécies de plantas lenhosas $\geq 1,5$ m (arbustos e árvores), sendo 31 delas com identificação confirmada a nível de espécie, nove a nível de gênero, duas a nível de família e uma indeterminada (Tabela 1).

Tabela 1 — Lista de espécies lenhosas $\geq 1,5$ m (arbustos e árvores) identificadas em áreas de campo sujo de Cerrado sob diferentes tratamentos de frequência de fogo (anual, bienal e exclusão do fogo). Os números indicados nas colunas dos tratamentos correspondem ao número de indivíduos da espécie observados em cada tratamento.

Família	Espécie	Tratamentos		
		Anual	Bienal	Exclusão
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	2		
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> sp.			4
	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	1	1	1
	<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll. Arg.) Woodson	1		1
	<i>Didymopanax macrocarpus</i> (Cham. & Schltdl.) Seem.		1	
Araliaceae				
Asteraceae	<i>Eremanthus goyazensis</i> (Gardner) Sch.Bip.			13
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera abdita</i> Saddi			1
	<i>Kielmeyera</i> sp.			6
Caryocaraceae	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	1	3	2
Connaraceae	<i>Connarus suberosus</i> Planch.		1	8
Dilleniaceae	<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	2	1	5
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum</i> sp.	1	1	2
Fabaceae	<i>Bauhinia dumosa</i> Benth.	2	19	11
	<i>Calliandra dysantha</i> Benth.			1
	<i>Chamaecrista</i> sp.			1
	<i>Eriosema congestum</i> Benth.		1	
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	8	1	16
	<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel			6
	<i>Mimosa leioccephala</i> Benth.		8	7
	<i>Mimosa pteridifolia</i> Benth.			1
	<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	2	6	2
	<i>Senna corifolia</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby			1

Família	Espécie	Tratamentos		
		Anual	Bienal	Exclusão
Lythraceae	<i>Diplusodon punctatus</i> Pohl		13	1
Malvaceae	<i>Eriotheca estevesiae</i> Carv.-Sobr.			1
Melastomataceae	<i>Stenodon suberosus</i> Naudin			5
Myrtaceae	<i>Psidium myrsinites</i> DC.			1
	<i>Myrcia</i> sp. 1			3
	<i>Myrcia</i> sp. 2			9
	<i>Myrtaceae</i> sp.			1
Nyctaginaceae	<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell			1
	<i>Nyctaginaceae</i> sp.		2	
Ochnaceae	<i>Ouratea</i> sp. 1		2	9
	<i>Ouratea</i> sp. 2		1	2
Opiliaceae	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.f.	1	1	
Rubiaceae	<i>Palicourea rigida</i> Kunth			1
	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum.	1		
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	2	10	20
Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	3		
Vochysiaceae	<i>Qualea multiflora</i> Mart.	1		
	<i>Qualea parviflora</i> Mart.			3
	<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil	1	17	
	<i>Vochysia</i> sp.		1	19
Indeterminadas	Indeterminada 1			1

Fonte: Dados da pesquisa

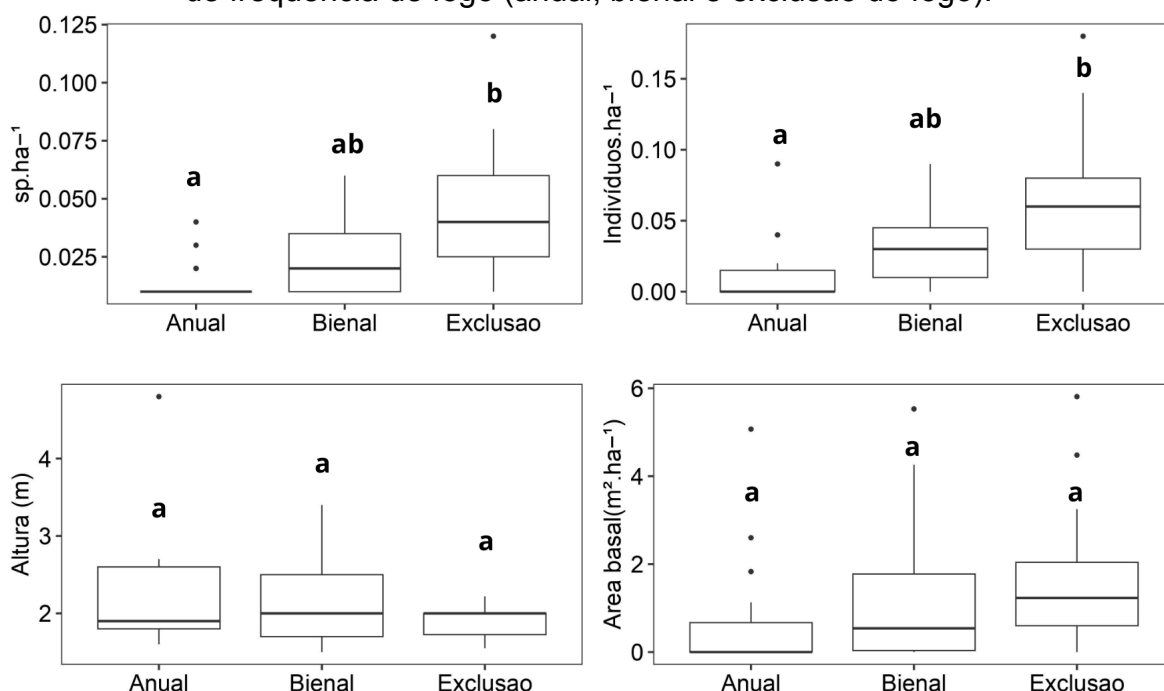
4.2. Variáveis (altura, área basal, número de espécies e de indivíduos)

Não houve diferença entre as densidades de indivíduos lenhosos da anual com bienal ($p = 0.306$), nem da exclusão com bienal ($p = 0.187$). A média de indivíduos nas parcelas de exclusão de fogo foi de $0,06 \pm 0.007$ por hectare, enquanto que nas parcelas anuais foi de $0,01 \pm 0.003$ por hectare. O tratamento de queimadas bienais apresentou média de $0,03 \pm 0.005$ por hectare.

Quanto ao número de espécies lenhosas, os tratamentos de exclusão de fogo também apresentaram valores maiores do que os de queimadas anuais ($p = 0.0077$), com médias de $0,04 \pm 0.004$ por hectare e de $0,01 \pm 0.14$ por hectare

respectivamente. Não houve diferença significativa entre as queimas anuais com bienais ($p = 0.2816$), assim como não houve entre as de queimas bienais com exclusão do fogo ($p = 0.0525$). A média de espécies lenhosas do tratamento bienal foi de $0,02 \pm 0.003$ por hectare. Não houve diferença significativa nos valores de área basal e de altura entre os diferentes tratamentos. No entanto, há uma tendência de aumento da área basal nas parcelas excluídas do fogo (Figura 4).

Figura 4 — Número de indivíduos lenhosos por 100m²; Número de espécies lenhosas por 100m²; Altura dos indivíduos lenhosos acima de 1,5 m por tratamento; e Área basal em m²/ha em áreas de campo sujo de Cerrado sob diferentes tratamentos de frequência de fogo (anual, bienal e exclusão do fogo).



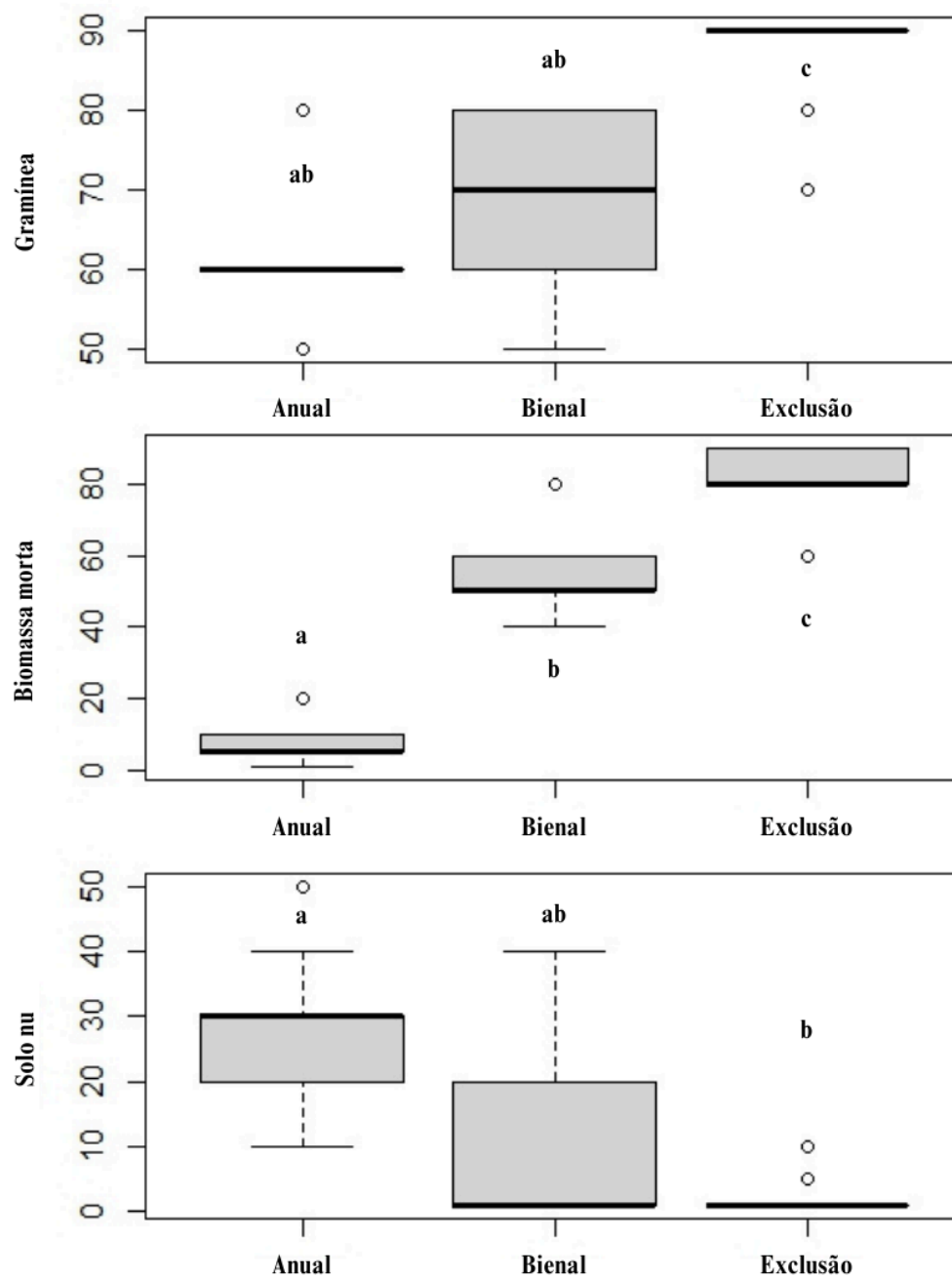
Fonte: Dados da pesquisa

A média de cobertura de gramíneas foi maior nas parcelas de exclusão de fogo ($88,14 \pm 0,93\%$) do que nas parcelas de queima anual ($60 \pm 1,3\%$) e bienal ($71,1 \pm 1,94\%$). As análises mostraram que existe diferença significativa entre os tratamentos de exclusão e os de queima frequente (Exclusão x Anual, $p = 0.0027$; Exclusão x Bienal, $p = 0.0283$), mas não entre os dois tipos de frequência de queimadas (Anual x Bienal, $p = 0.1301$). As parcelas excluídas do fogo apresentaram maior média de biomassa morta ($83,3 \pm 1,3$) comparada com o tratamento de queima bienal ($57,03 \pm 2,71$) e ainda maior do que os tratamentos de queima anual ($9,29 \pm 1,2$). Todos apresentaram diferença significativa quanto a quantidade de biomassa morta

(Anual x Bienal, $p = 0.0007$; Anual x Exclusão, $p = 0.0001$; e Bienal x Exclusão, $p = 0.0150$).

Quanto ao solo descoberto nas parcelas (solo nu), o tratamento de queima anual apresentou a maior média ($26,66 \pm 2,06\%$), seguido do tratamento de queima bienal ($9,51 \pm 2,31\%$) e de exclusão do fogo ($2,07 \pm 0,43\%$). No entanto, houve diferença significativa apenas entre as anuais e as de exclusão ($p = 0.0318$) (Figura 5).

Figura 5 — Médias de cobertura de gramíneas, biomassa morta e solo nu em áreas de campo sujo de Cerrado sob diferentes tratamentos de frequência de fogo (anual, bienal e exclusão do fogo). As letras indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.



Fonte: Dados da pesquisa

5 DISCUSSÃO

Hoffmann *et al.* (2012) propuseram duas barreiras que atuam no controle de limites entre fisionomias abertas e florestais, sendo elas a barreira relacionada à resistência ao fogo e a barreira relacionada à supressão do fogo. A primeira é atuante no nível individual dos vegetais e está relacionada ao tamanho que a planta necessita atingir para resistir ao fogo, enquanto que a segunda atua no nível do ecossistema, diferenciando o ponto de transição entre um ambiente altamente inflamável de um ambiente pouco inflamável. Em ambos os casos, eles representam a transição de um estado mantido pela presença do fogo para um estado pouco influenciado por ele. Os efeitos da exclusão do fogo avaliados no presente trabalho, assim como os efeitos das queimas anuais e bienais, podem ser analisados em especial sob a primeira perspectiva. Nesse sentido, a superação dessa barreira pode indicar uma mudança da comunidade vegetal estudada indicando o processo de adensamento lenhoso.

A hipótese de que haveria maior quantidade de indivíduos e de espécies lenhosas nas parcelas de exclusão de fogo foi corroborada. A ausência do fogo provavelmente possibilitou o estabelecimento de plantas que não se desenvolveriam com queimas frequentes. Para Hoffmann *et al.* (2020) o sucesso no estabelecimento de plantas lenhosas de savana pode estar associado a uma menor severidade de queima ou um intervalo maior entre períodos de queima. Dessa forma as tendências de aumento do número de indivíduos e de espécies entre anual, bienal e exclusão, respectivamente, podem estar associadas a esses intervalos entre queimas cada vez maiores.

Rodrigues & Fidelis (2022) citam a presença predominante no estrato herbáceo de espécies arbustivas e arbóreas exclusivas das áreas de exclusão de fogo como um indício do processo de adensamento lenhoso. Notavelmente três espécies citadas por Rodrigues & Fidelis (2022) foram encontradas em nossos levantamentos de indivíduos $\geq 1,5$ m nas parcelas de exclusão de fogo: *Palicourea rigida* Kunth, *Connarus suberosus* Planch, *Hancornia speciosa* Gomes. Isso pode indicar que estas espécies estão conseguindo se desenvolver e ocupar estratos mais altos devido a ausência do fogo.

Em relação a altura dos indivíduos, as parcelas de exclusão não apresentaram as maiores médias entre os tratamentos como esperado. No entanto, isso pode ser explicado pela maior presença de plantas mais jovens que estão atingindo a estatura de 1,5 m nestas parcelas indicando o estabelecimento recente ao longo desse período de onze anos de exclusão. Dessa forma, mesmo as parcelas de exclusão tendo mais indivíduos lenhosos que os demais tratamentos, estes em sua maioria são menores do que os observados nas parcelas com queimas anuais e bienais. Por outro lado, apesar das parcelas que queimam frequentemente possuírem menos indivíduos que as de exclusão do fogo, estes são mais altos e provavelmente já estavam estabelecidos antes das queimas iniciarem, caso contrário teriam sido afetados pela linha do fogo (fire-trap).

As alterações causadas na quantidade de gramíneas, biomassa morta e solo nu mostraram a relação conjunta entre a frequência do fogo e a porcentagem de ocupação da vegetação em cada área. A pouca quantidade de biomassa morta nas parcelas anuais, por exemplo, pode ser associada à falta de tempo suficiente para todas as gramíneas crescerem e completarem seu ciclo. Quanto à quantidade de solo nu, as maiores médias encontradas nos tratamentos de queima anual, ocorre provavelmente porque o efeito imediato mais importante no pós-fogo é a remoção da camada de serapilheira resultando na exposição do solo (Fidelis *et al.*, 2012).

O impacto da exclusão do fogo provocando um aumento proporcional na quantidade de gramíneas e de biomassa morta e diminuição na quantidade de solo exposto corroboram pesquisas anteriores (Rodrigues *et al.*, 2021).

6 CONCLUSÃO

Conclui-se portanto que diferentes frequências de fogo levam a mudanças na comunidades lenhosas de fisionomias abertas, principalmente no que diz respeito ao aumento da quantidade de indivíduos e espécies lenhosas nas áreas excluídas do fogo. Além disso, o tempo de 11 anos de exclusão de fogo se mostrou suficiente para observar um processo de adensamento lenhoso dessas áreas, ainda que em estágio inicial. Esses resultados contribuem para a compreensão sobre a importância do fogo como distúrbio necessário para a manutenção dos ecossistemas savânicos abertos do Cerrado.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Rodolfo C.R. *et al.* The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science advances**, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017.
- ANTONELLI-FILHO, R. 2011. **Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador, Cavalcante - Goiás.**
- ARCHIBALD, Sally *et al.* Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 16, p. 6442-6447, 2013.
- ARCHIBALD, Sally; HEMPSON, Gareth P. Competing consumers: contrasting the patterns and impacts of fire and mammalian herbivory in Africa. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 371, n. 1703, p. 20150309, 2016.
- ARCHER, S., BOUTTON, T.W.; HIBBARD, K.A. Trees in grasslands: biogeochemical consequences of woody plant expansion. *In*: E.-D. Schulze, M. Heimann, S. Harrison, E. Holland, J. Lloyd & I. Prentice. **Global biogeochemical cycles in the climate system**. San Diego: Academic Press, 2001. pp. 115–138.
- BASTIN, Jean-Francois *et al.* The global tree restoration potential. **Science**, v. 365, n. 6448, p. 76-79, 2019.
- BATES, D. *et al.* Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, p. 1–48. 2015.
- BOMBO, Aline Bertolosi; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz; FIDELIS, Alessandra. Fire exclusion changes belowground bud bank and bud-bearing organ composition jeopardizing open savanna resilience. **Oecologia**, v. 199, n. 1, p. 153-164, 2022.
- BOND, William J.; WOODWARD, F. Ian; MIDGLEY, Guy F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New phytologist**, v. 165, n. 2, p. 525-538, 2005a.
- BOND, William J. Large parts of the world are brown or black: a different view on the 'Green World' hypothesis. **Journal of vegetation science**, v. 16, n. 3, p. 261-266, 2005b.
- BUISSON, Elise *et al.* Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. **Biological Reviews**, v. 94, n. 2, p. 590-609, 2019.
- BUISSON, Elise *et al.* Ancient grasslands guide ambitious goals in grassland restoration. **Science**, v. 377, n. 6606, p. 594-598, 2022.

CLARKE, Peter J. *et al.* Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. **New phytologist**, v. 197, n. 1, p. 19-35, 2013.

DALDEGAN, Gabriel Antunes *et al.* Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9873-9894, 2014.

DE SOUZA, Gabriella Ferreira; FERREIRA, Maxmiller Cardoso; MUNHOZ, Cássia Beatriz Rodrigues. Decrease in species richness and diversity, and shrub encroachment in Cerrado grasslands: A 20 years study. **Applied Vegetation Science**, v. 25, n. 3, p. e12668, 2022.

EITEN, George. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, p. 201-341, 1972.

FERRARO, Alexandre *et al.* Long-term Pinus plantations reduce the bud bank in Cerrado areas. **Applied Vegetation Science**, v. 24, n. 1, p. e12537, 2021.

FIDELIS, Alessandra *et al.* Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, n. 3, p. 552-562, 2012.

FIDELIS, Alessandra *et al.* The year 2017: Megafires and management in the Cerrado. **Fire**, v. 1, n. 3, p. 49, 2018.

FIDELIS, Alessandra; ZIRONDI, Heloiza L. And after fire, the Cerrado flowers: a review of post-fire flowering in a tropical savanna. **Flora**, v. 280, p. 151849, 2021.

FURLEY, Peter A. *et al.* Savanna burning and the assessment of long-term fire experiments with particular reference to Zimbabwe. **Progress in Physical Geography**, v. 32, n. 6, p. 611-634, 2008.

GILL, A. Malcolm. Fire and the Australian flora: a review. **Australian forestry**, v. 38, n. 1, p. 4-25, 1975.

GOVENDER, Navashni; TROLLOPE, Winston SW; VAN WILGEN, Brian W. The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 4, p. 748-758, 2006.

HARDESTY, Jeff; MYERS, Ron; FULKS, Wendy. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *In*: The George Wright Forum. **George Wright Society**, 2005. p. 78-87.

HOFFMANN, William A. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. **Journal of ecology**, v. 84, n. 3, p. 383-393, 1996.

HOFFMANN, William A. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. **Ecology**, v. 80, n. 4, p. 1354-1369, 1999.

HOFFMANN, William A. *et al.* Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology letters**, v. 15, n. 7, p. 759-768, 2012.

HOFFMANN, William A. *et al.* Better lucky than good: How savanna trees escape the fire trap in a variable world. **Ecology**, v. 101, n. 1, p. e02895, 2020.

KEELEY, Jon E.; FOTHERINGHAM, C. J. Role of fire in regeneration from seed. In: **Seeds: the ecology of regeneration in plant communities**. Wallingford UK: Cabi Publishing, 2000. p. 311-330.

KEELEY, Jon E. *et al.* Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. **Trends in plant science**, v. 16, n. 8, p. 406-411, 2011.

LENTH, R.V. (2021) **Emmeans**: estimated marginal means, aka least-squares means. R package version 1.5.5-1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans> Acesso em: 28 mar. 2024.

MOREIRA, Adriana G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. **Journal of biogeography**, v. 27, n. 4, p. 1021-1029, 2000.

MYERS, Norman *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, Paulo S.; MARQUIS, Robert J. **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002.

PARR, Catherine L. *et al.* Tropical grassy biomes: misunderstood, neglected, and under threat. **Trends in ecology & evolution**, v. 29, n. 4, p. 205-213, 2014.

PINHEIRO, Eduardo Da Silva; DURIGAN, Giselda. Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 32, n. 3, p. 441-454, 2009.

PIVELLO, Vânia R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011.

R Core Team. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 28 mar. 2024.

RAMOS-NETO, Mário Barroso; PIVELLO, Vânia Regina. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. **Environmental management**, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.

RATNAM, Jayashree et al. When is a 'forest' a savanna, and why does it matter?. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 5, p. 653-660, 2011.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

RISSI, Mariana Ninno et al. Does season affect fire behaviour in the Cerrado?. **International Journal of Wildland Fire**, v. 26, n. 5, p. 427-433, 2017.

RODRIGUES, Cassy Anne; ZIRONDI, Heloiza Lourenco; FIDELIS, Alessandra. Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118850, 2021.

RODRIGUES, Cassy Anne; FIDELIS, Alessandra. Should we burn the Cerrado? Effects of fire frequency on open savanna plant communities. **Journal of Vegetation Science**, v. 33, n. 6, p. e13159, 2022.

SANKARAN, Mahesh et al. Determinants of woody cover in African savannas. **Nature**, v. 438, n. 7069, p. 846-849, 2005.

SCOTT, Andrew C. The Pre-Quaternary history of fire. **Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology**, v. 164, n. 1-4, p. 281-329, 2000.

SCHOLES, Robert J.; ARCHER, Steven R. Tree-grass interactions in savannas. **Annual review of Ecology and Systematics**, v. 28, n. 1, p. 517-544, 1997.

SIMON, Marcelo F. et al. 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**, v. 106, n. 48, p. 20359-20364, 2009.

STEVENS, Nicola et al. Savanna woody encroachment is widespread across three continents. **Global change biology**, v. 23, n. 1, p. 235-244, 2017.

TROLLOPE, W. S. W. Ecological effects of fire in South African savannas. **Ecology of tropical savannas**, v. 42, p. 292-306, 1982.

WALTER, Bruno Machado Teles; CARVALHO, AM de; RIBEIRO, José F. O conceito de savana e de seu componente Cerrado. In: SANO, Sueli Matiko et al. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. pp. 21-45.

WHELAN, Robert J. **The ecology of fire**. Cambridge: Cambridge university press, 1995.

WIECZORKOWSKI, Jakub D.; LEHMANN, Caroline E.R. Encroachment diminishes herbaceous plant diversity in grassy ecosystems worldwide. **Global Change Biology**, v. 28, n. 18, p. 5532-5546, 2022.

ZANZARINI, Vagner; ANDERSEN, Alan N.; FIDELIS, Alessandra. Flammability in tropical savannas: Variation among growth forms and seasons in Cerrado. **Biotropica**, v. 54, n. 4, p. 979-987, 2022.

ZAPPI, Daniela C et al. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.

ZUPO, Talita et al. Post-fire regeneration strategies in a frequently burned Cerrado community. **Journal of Vegetation Science**, v. 32, n. 1, p. e12968, 2021.