

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 29/04/2026.



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E
BIODIVERSIDADE**

**DINÂMICA DE COMUNIDADES VEGETAIS DE CAMPO SUJO DE CERRADO
SOB DIFERENTES REGIMES DE FOGO**

CASSY ANNE DOS SANTOS RODRIGUES

**Rio Claro – SP
2024**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E
BIODIVERSIDADE**

**DINÂMICA DE COMUNIDADES VEGETAIS DE CAMPO SUJO DE
CERRADO SOB DIFERENTES REGIMES DE FOGO**

CASSY ANNE DOS SANTOS RODRIGUES

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ecologia, Evolução e Biodiversidade.

Orientadora: Profa. Assoc. Alessandra Tomaselli Fidelis.

R696d

Rodrigues, Cassy Anne dos Santos

Dinâmica de comunidades vegetais de campo sujo de Cerrado sob diferentes regimes de fogo / Cassy Anne dos Santos Rodrigues. -- Rio Claro, 2024

108 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientadora: Alessandra Tomaselli Fidelis

1. Ecologia de comunidades vegetais. 2. Distúrbio. 3. Ecologia do fogo. 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.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DINÂMICA DE COMUNIDADES VEGETAIS DE CAMPO SUJO DE CERRADO SOB DIFERENTES REGIMES DE FOGO

AUTORA: CASSY ANNE DOS SANTOS RODRIGUES

ORIENTADORA: ALESSANDRA TOMASELLI FIDELIS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ecologia, Evolução e Biodiversidade, área: Biodiversidade pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ALESSANDRA TOMASELLI FIDELIS (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / Unesp - IB Rio Claro

Profa. Dra. SOIZIG ANNE LE STRADIC (Participação Virtual)
Department of Biodiversity, Genes & Communities / Universidade de Bordeaux

Profa. Dra. SANDRA CRISTINA MÜLLER (Participação Virtual)
Departamento de Ecologia / Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Rio Claro, 29 de abril de 2024

À pessoa a quem todas as minhas conquistas também pertence, mãe.

AGRADECIMENTOS

Assim como em tudo na vida e como é para todos, contei com o apoio de inúmeras pessoas na realização deste projeto. A ajuda veio de todas as formas e tamanhos, e todas tiveram imensa importância. Então, já começo agradecendo por cada ajuda que recebi, até mesmo aquelas das quais eu nem tenho consciência, mas que recebi e me trouxeram até aqui.

Pelas oportunidades, toda estrutura e recursos para o desenvolvimento deste trabalho, assim como pelo conhecimento científico compartilhado, agradeço à minha orientadora, a Profa. Assoc. Alessandra Fidelis.

Agradeço a todos os taxonomistas que contribuíram para a identificação das espécies, em especial ao Dr. Marcelo Fragomeni Simon.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Evolução e Biodiversidade e ao departamento de Biodiversidade da UNESP-Rio Claro.

Ao apoio financeiro concedido por meio do processo nº 2020/10333-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Ao apoio financeiro concedido por meio do processo nº 2015/06743-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

À Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza por autorizar e apoiar logisticamente a realização dos experimentos na Reserva Natural Serra do Tombador (0153_2011_PR).

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

Aos queridos funcionários da Reserva Natural da Serra do Tombador, ao parceiro Mauricio Cunha e ao Sr. Juraci Maia (Cerrado Vivo), sem os quais este trabalho não seria possível. Obrigada a todos vocês pela disposição, cuidado, bom humor e todo o aprendizado.

Pelo companheirismo, cumplicidade, trocas científicas valiosas, brincadeiras, viagens inesquecíveis, ajuda no campo e no laboratório, incentivo nos momentos de incerteza e frustração, e por celebrarem comigo as pequenas vitórias, agradeço meus amigos do LEVeg.

Agradeço especialmente à minha família, que é minha base, minha realidade e minha constante. Amo todos vocês e sei o quanto torcem/oram por mim. Um agradecimento

à parte para quem não mede esforços para me apoiar e com quem eu divido todos os desafios e todas as conquistas. Obrigada, Anderson!

Agradeço a Deus pelas ferramentas dadas para que fosse possível realizar este projeto.

RESUMO

Ecossistemas abertos, como as savanas tropicais são estruturados e mantidos por diversos fatores bióticos e abióticos. Entre eles, um fator que exerce enorme influência na montagem, dinâmica e funcionalidade das comunidades vegetais é a ocorrência do fogo. O regime de fogo descreve padrões de frequência, época, extensão e intensidade da ocorrência do fogo em um determinado local. Portanto, o regime de fogo pode influenciar a regeneração das comunidades vegetais devido a sua influência no comportamento do fogo; de acordo com a fase fenológica e de crescimento das plantas durante o evento de fogo; e devido às condições pós-fogo que impõem as plantas. Deste modo, o principal objetivo deste estudo foi analisar como diferentes regimes de queimadas influenciam a médio-longo prazo a estrutura, composição, produtividade e a diversidade de espécies e funcional das comunidades vegetais de ecossistemas abertos de Cerrado, bem como as condições microclimáticas pós-queima. Para isso, foram realizados levantamentos da vegetação e coleta de biomassa aérea em áreas com diferentes frequências de fogo (11 anos sem queima, queimadas anuais e bienais por nove anos) e época de fogo (queimadas bienalmente no início, meio e fim da estação seca por nove anos). Os levantamentos da vegetação consistiram na estimativa visual da cobertura de cada uma das espécies, da biomassa morta e da porcentagem de solo descoberto e foram realizados em subparcelas de 1x1m (10 subparcelas/parcela, 3-4 parcelas/tratamento). Também foram medidos na estação chuvosa de 2022, atributos funcionais relacionados à resposta das plantas ao regime de fogo em três indivíduos das espécies que correspondiam a 80% da comunidade em cada tratamento. As amostragens da biomassa aérea foram realizadas dentro de cinco subparcelas de 0.5x0.5m nas bordas de cada parcela experimental, nas estações chuvosa e seca. Em laboratório as amostras de biomassa foram separadas nos seguintes componentes: graminóides, herbáceas não-graminóides, arbustos e biomassa morta. Para avaliar como as condições microclimáticas são influenciadas pela frequência de fogo foram instalados *data loggers* com sensores de umidade relativa do ar, luminosidade e temperatura nas parcelas sob tratamentos com diferentes frequências de queimas. Em relação a influência do regime do fogo no microclima de savanas abertas, o presente estudo observou que a frequência

de fogo afeta os parâmetros microclimáticos ao longo do tempo através das diferenças na cobertura vegetal entre as parcelas queimadas e não queimadas e que seus efeitos perduram por pelo menos 12 meses após a queimada, sendo potencializados pela estação seca. Quanto à riqueza de espécies, produtividade e dinâmica da biomassa aérea, a exclusão do fogo teve o impacto mais negativo nas comunidades vegetais, afetando a riqueza e cobertura de herbáceas não-graminóides e graminóides, a riqueza total de espécies, diversidade taxonômica e funcional e a produtividade do estrato herbáceo. O tratamento de queimadas precoces também representou prejuízos às comunidades de campo sujo, resultando em menor riqueza de espécie total e de graminóides e menor diversidade taxonômica do que os demais tratamentos. As comunidades do estrato herbáceo de savanas abertas se mostraram resilientes ao fogo anual, mantendo sua diversidade e produtividade estáveis. Os dados obtidos através deste estudo trazem informações inéditas acerca dos efeitos de diferentes regimes de fogo a médio-longo prazo em fisionomias abertas de Cerrado e devem orientar o desenvolvimento de ações de manejo e políticas públicas de fogo que assegurem a conservação das savanas tropicais.

Palavras-chave: dinâmica de comunidades vegetais; época de fogo; estrato herbáceo; frequência de fogo; microclima; produtividade; riqueza de espécies; savanas abertas.

ABSTRACT

Open ecosystems, such as tropical savannas, are shaped and maintained by various biotic and abiotic factors. Fire is a crucial element that influences the plant communities' assembly, dynamics, and functionality. Fire regime describes patterns of frequency, season, extent, and intensity of fire occurrence in a particular location. Therefore, fire regimes can influence the post-fire regeneration of plant communities due to their influence on fire behavior; according to plants' phenological and growth stage during the fire event; and due to the post-fire conditions imposed on plants. We aimed to analyze how different fire regimes influence the structure, composition, productivity, and taxonomic and functional diversity of plant communities in open Cerrado, as well as their post-fire microclimatic conditions. We performed vegetation surveys and aboveground biomass samples in areas with different fire frequencies (fire exclusion for 11 years, annual and biennial fires for 9 years) and fire seasons (biennial burnings at early, mid, and late the dry season). Functional traits of fire response were also measured in the 2022 rainy season in three individuals of the species that corresponded to 80% of the community in each treatment. To evaluate how microclimatic conditions are influenced by fire frequency, data loggers were installed with relative humidity, illuminance, and temperature sensors in plots under treatments with different fire frequencies. We found that fire frequency affects microclimatic parameters over time through differences in vegetation cover between burned and unburned plots. The changes in microclimate last for at least 12 months after the fire, being enhanced by the dry season. Regarding species richness, productivity, and aboveground biomass dynamics, fire exclusion had the most negative impact on plant communities, affecting the richness and cover of forbs and graminoids, total species richness, taxonomic and functional diversity, and the productivity of the herbaceous layer. The treatment of early fires also resulted in lower total and graminoid species richness and lower taxonomic diversity than the other fire treatments. Communities in the

herbaceous layer of open savannas showed to be resilient to annual fire, maintaining stable diversity and productivity. The findings obtained through this study provide new information about the medium-long-term effects of different fire regimes in open savannas and may guide the development of management actions and public fire policies that ensure the conservation of tropical savannas.

Key-words: fire frequency; fire season; herbaceous layer; microclimate; plant communities dynamic; productivity; open savannas; species richness.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	6
2.	CAPÍTULO 1. Microclimate is affected by fire frequency and seasonality in tropical open savannas of the Cerrado	20
3.	CAPÍTULO 2. Fire exclusion and early dry-season fires negatively impact plant communities in tropical open savannas in the Cerrado	45
4.	CAPÍTULO 3. Fire frequency, not fire season matters for aboveground biomass dynamics in open savannas of the Cerrado.....	82
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105

1. INTRODUÇÃO GERAL

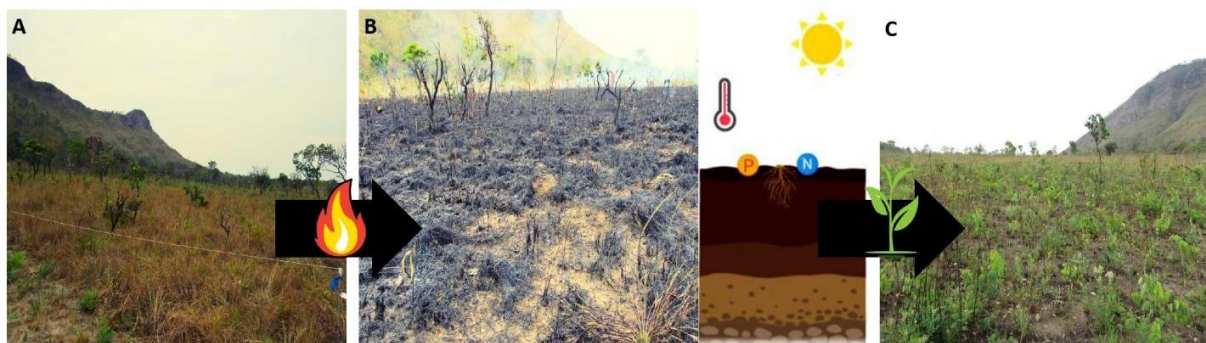
Ecossistemas abertos sustentam uma alta biodiversidade e fornecem serviços ecossistêmicos essenciais, como regulação do ciclo de água e nutrientes, armazenamento de carbono, regulação do clima e serviços culturais (Myers et al., 2000; Parr et al., 2014; Zhao et al., 2020). No entanto, os ecossistemas abertos como as savanas, em especial seu estrato herbáceo-arbustivo, são constantemente negligenciadas, mesmo por pesquisadores e tomadores de decisão, que historicamente têm dado mais atenção às fisionomias savânicas densas e florestais ou somente ao componente lenhoso das savanas abertas (Parr et al., 2014; Overbeck et al., 2015; Lahsen et al., 2016; Sawyer & Lahsen, 2016; Oliveira et al., 2017; Strassburg et al., 2017). O desinteresse por campos e savanas, comparado ao esforço dedicado a ecossistemas florestais, explica-se em parte pelo equívoco em se considerar estes ambientes como degradados, sendo resultado da ação antrópica (Bond et al., 2008; Bond & Parr, 2010).

Na realidade, campos e savanas são sistemas complexos, com particularidades na sua história evolutiva, ecologia e funcionalidade (Cerling, et al., 1997; Bond & Parr, 2010; Edwards et al., 2010; Hoffman et al., 2012, Parr et al., 2014; Veldman, et al., 2015). Diversos fatores bióticos e abióticos podem afetar a estruturação das comunidades, a riqueza e composição de espécies, a diversidade funcional, a produtividade e a dinâmica da biomassa do estrato herbáceo em ecossistemas abertos. Por exemplo, a duração e intensidade da estação chuvosa, recursos disponíveis no solo, condições microclimáticas e, principalmente distúrbios como herbivoria e fogo (Sarmiento, 1984; Briggs & Knapp, 1995; Sankaran et al., 2005; Bond, 2008; Bustamante et al., 2012; Fidelis et al., 2013; Lehmann et al., 2014; Rodrigues & Fidelis, 2022).

O fogo é um fator ecológico presente em diversos ecossistemas ao redor do mundo, moldando as comunidades vegetais e influenciando sua estrutura e funcionalidade (Whelan, 1995; Keeley et al., 2011). A própria distribuição de ecossistemas é influenciada pelo fogo há centenas de milhões de anos (Bond & Keeley, 2005; Pausas, 2012). No entanto, é nos campos e savanas que observamos a maior frequência e impacto do fogo (Lehmann et al., 2011; Archibald et al., 2013). Como uma força seletiva, o fogo afeta desde indivíduos, até comunidades e ecossistemas (Whelan, 1995; Bond & van Wilgen, 1996), alterando as condições

ambientais, bem como as relações interespecíficas das plantas e consequentemente a dinâmica das comunidades vegetais (Laterra & Solbrig, 2001; Marcos et al., 2004). As queimadas removem uma grande quantidade de biomassa aérea, tanto viva quanto morta das plantas, expondo o solo (Bond & van Wilgen, 1996; Fidelis et al., 2012), promovendo assim, um aumento na disponibilidade de nutrientes, na incidência da luz solar e espaço (Figura 1, Whelan, 1995; Fidelis & Blanco, 2014). As novas condições do ambiente pós-fogo podem resultar em maiores taxas de crescimento e produtividade das plantas (Whelan, 1995), bem como em mudanças na riqueza, composição e abundância de diferentes formas de crescimento após queimas (Whelan, 1995; Fidelis et al., 2012; Boughton et al., 2013; Rodrigues & Fidelis, 2022). Estas mudanças se dão pelas respostas das plantas à passagem do fogo e às novas condições ambientais, através das adaptações selecionadas pelos regimes de fogo sob o qual evoluíram (Whelan, 1995; Pivello & Norton, 1996).

Figura 1 - Esquema ilustrando a vegetação de uma área de savana aberta A - antes de ser queimada, em seguida a B - remoção da biomassa aérea após a passagem do fogo, expondo o solo e aumentando a disponibilidade de nutrientes, espaço e luz solar e C - finalmente a regeneração da comunidade impulsionada pelas novas condições do ambiente pós-fogo.



O regime do fogo descreve o padrão de ocorrência do fogo num determinado local em termos de frequência (intervalo de retorno do fogo), época (período/estação do ano em que ocorre a queimada), extensão, intensidade (calor liberado durante a queimada) e severidade (impacto biológico do fogo). A época e a frequência das queimadas podem levar a grandes mudanças nas populações e comunidades vegetais (Bond & Van Wilgen, 1996), uma vez que afetam o recrutamento de plântulas, a regeneração dos diferentes grupos funcionais, e até processos ecossistêmicos, como a ciclagem de nutrientes (Pivello et al., 2010; Oliveras et al., 2013). Portanto, o

regime de fogo pode influenciar a produtividade e o acúmulo de biomassa nas comunidades de savana.

A exclusão do fogo por períodos longos, leva a um grande acúmulo de serapilheira e biomassa morta, reduzindo a produtividade das plantas (Knapp & Seastedt, 1986), uma vez que os nutrientes ficam imobilizados na biomassa morta (Frost & Robertson, 1987). Por outro lado, em áreas frequentemente queimadas, grande parte dos nutrientes é alocada nos órgãos subterrâneos das plantas (Oliveras et al., 2013) e parte dos nutrientes da biomassa queimada retorna à comunidade através das cinzas, aumentando a disponibilidade de nutrientes nas camadas mais superficiais ao serem incorporados pelo solo (Pivello & Coutinho, 1992; Miranda et al., 2002; Knox & Clarke, 2005). No entanto, intervalos curtos entre incêndios podem reduzir a produtividade ao esgotar os nutrientes do solo e das plantas, afetando a produção de novos caules e folhas (Pivello et al., 2010; Savadogo et al., 2009). A época de fogo também pode afetar a produtividade da comunidade vegetal, uma vez que, ao longo da estação seca as plantas apresentam diferentes estágios fenológicos, que podem ser distintamente afetados pela ocorrência do fogo (Knapp et al., 2009), em especial devido a alocação de recursos em cada fase (Oliveras et al., 2013). Além disso, nas savanas, a disponibilidade de água no solo é um fator chave na regeneração da biomassa herbácea e varia ao longo das estações (Quesada et al., 2004; Oliveras et al., 2013). Igualmente, a duração do período de restrição hídrica após uma queimada também varia dependendo da época de fogo (Quesada et al., 2004). Deste modo, o fogo durante o início da estação seca impõe às plantas um período mais longo sem água até à próxima estação chuvosa, o que pode afetar a regeneração pós-fogo da comunidade.

As queimadas em diferentes frequências e épocas influenciam não apenas a produtividade e a dinâmica da biomassa aérea vegetal, mas também causam mudanças significativas na fisionomia e na composição de espécies da vegetação (Moreira, 2000; Rodrigues & Fidelis, 2022). Comunidades abertas ao serem excluídas do fogo tendem a apresentar um aumento na cobertura lenhosa o que pode acarretar na perda de espécies herbáceas não-graminóides e em drásticas mudanças na fisionomia (Moreira, 2000; Abreu et al., 2017). Por outro lado, frequências altas de fogo, como queimadas anuais, podem levar ao aumento de solo descoberto e mudanças nos padrões de composição de espécies (Rodrigues & Fidelis, 2022). A

época em que ocorre a queimada pode influenciar o recrutamento e persistência de espécies, afetando a composição de espécies e estrutura da comunidade. Isto porque, a queimada em cada época ocorre em diferentes condições ambientais (e.g. teor de água no solo e na vegetação) e diferentes estágios fenológicos das espécies (e.g. variação na alocação de recursos para a produção de novos ramos, folhas, flores e frutos) (Quesada et al., 2004; Knapp et al., 2009; Oliveras et al., 2013). As alterações na estrutura da vegetação e na composição de espécies promovidas por diferentes frequências e épocas de fogo podem impactar a diversidade funcional da comunidade e sua funcionalidade (Diaz e Cabido, 2001).

Como em diversos ecossistemas no mundo, o fogo pode ser considerado como um dos fatores determinantes na estruturação e manutenção do Cerrado (Coutinho, 1982). O fogo está presente há pelo menos quatro milhões de anos no Cerrado, indicado pelas linhagens de espécies com atributos relacionados ao fogo nesse sistema (Simon et al., 2009). No entanto, foi o grande aumento da população humana que ocorreu durante o Holoceno, que intensificou a ocorrência do fogo e provocou, portanto, alterações no regime de fogo no Cerrado (Pivello, 2011; Fidelis & Pivello, 2011). As atividades humanas de manejo do fogo para limpar áreas, renovar o pasto para pecuária e para fins agrícolas aumentaram a frequência, extensão e mudaram a época de ocorrência das queimadas (Coutinho, 1990; Pivello, 2011).

Estas alterações no regime no fogo pelo homem, muitas vezes, trazem resultados nocivos ao ambiente, como esgotamento e erosão do solo, eliminação do estrato arbóreo, perda de diversidade, infestação por espécies ruderais, dentre outros (Pivello, 2006). Contudo, é necessário compreender que estes são os resultados do mau uso do fogo e que sua exclusão traz tanto ou mais prejuízos para ecossistemas que evoluíram na presença do fogo (Moreira 2000, Abreu et al. 2017). Nas savanas, o uso adequado e planejado do fogo pode proporcionar diversos benefícios do ponto de vista ecológico, como por exemplo, manutenção de ecossistemas abertos e da biodiversidade (Abreu et al., 2017). Além disso, é um bom instrumento de manejo e com custos baixos, para ser utilizado em unidades de conservação (UCs) que se destinam à conservação dos ecossistemas do Cerrado (Moraes et al., 2016).

O Manejo Integrado do Fogo (MIF) foi estabelecido inicialmente em poucas UCs de Cerrado em 2014 (Schmidt et al., 2018) e seu uso tem aumentado gradualmente em outras UCs (Schmidt & Eloy, 2020). Nestes locais, as queimadas

precoces são utilizadas para controle do material combustível, evitando-se dessa maneira, os grandes incêndios do final da estação seca (Schmidt et al., 2018). Experimentos de longa-duração, como o projeto FOGO em Brasília trouxeram grandes avanços ao conhecimento sobre o comportamento do fogo e seus efeitos, sendo realizado em diferentes épocas do ano e frequências na vegetação (Miranda, 2010). Porém, este experimento não contava com réplicas e também trouxe resultados principalmente relacionados ao estrato lenhoso. Portanto, há poucos dados de experimentos de longa-duração que mostram os efeitos do fogo em diferentes épocas e frequências no estrato herbáceo do Cerrado, onde a maior parte da diversidade se encontra (Mendonça et al., 2008).

Informações sobre como regimes de fogo afetam as espécies herbáceas são escassas e geralmente voltadas para o acúmulo do material combustível, deixando lacunas acerca dos impactos de cada regime de fogo sobre a composição de espécies e diversidade funcional das comunidades vegetais. Estas lacunas no conhecimento sobre a influência da frequência e época de fogo na resiliência e funcionalidade dos sistemas abertos do Cerrado tornam estas vegetações vulneráveis à degradação. Portanto, estudos que avaliem como o regime de fogo afeta a montagem de comunidades (estrutura, composição e diversidade), a produtividade e a resiliência de ecossistemas abertos de Cerrado, através de experimentos com queimadas em diferentes épocas e frequências, são fundamentais para orientar processos regulatórios do uso do fogo, assim como o desenvolvimento de estratégias de manejo em UCs que preservem a variedade de ecossistemas e a biodiversidade do Cerrado e consequentemente, sua funcionalidade e serviços ecossistêmicos. O experimento na Reserva Natural Serra do Tombador, iniciado em 2013, com tratamentos de queima em diferentes épocas do ano e frequência (Rissi et al., 2017, Rodrigues et al., 2021), foi um dos primeiros a avaliar os efeitos do fogo no estrato herbáceo-arbustivo do Cerrado. E para que as informações geradas possam contribuir efetivamente para o planejamento de ações de uso de fogo para fins de conservação da vegetação das áreas abertas de Cerrado, os experimentos com queimadas foram estabelecidos levando em consideração as épocas de ocorrência de fogo natural (início e final da estação seca) e antrópico (exclusão do fogo, queimadas anuais e meio da estação seca). Além disso, foram estabelecidos experimentos com diferentes frequências de

fogo para avaliar as respostas da vegetação de campo sujo de Cerrado à intervalos menores ou maiores entre as queimadas.

Deste modo, este estudo buscou gerar informações inéditas e robustas quanto aos impactos de diferentes regimes de fogo sobre a vegetação do estrato herbáceo-arbustivo de sistemas abertos de Cerrado a médio-longo prazo. O que deve contribuir para o entendimento avançado da dinâmica das comunidades vegetais sujeitas ao distúrbio, indicando em que momento sob um determinado regime de fogo iniciam-se as alterações na composição de espécies, estrutura, e produtividade das comunidades. Além disso, foi possível determinar se após anos sob um determinado regime de fogo ocorreram alterações na riqueza de espécies e na diversidade funcional das comunidades vegetais e nas condições microclimáticas. Todo este conhecimento deve elucidar como se dá a relação entre a época e frequência de fogo e a resiliência das comunidades vegetais de campo sujo, o que é determinante para a conservação de savanas.

O estudo foi conduzido na Reserva Nacional da Serra do Tombador (RNST), utilizando dados coletados entre 2014 (maioria a partir de 2016) a 2022. A RNST está localizada no município de Cavalcante, Goiás. Trata-se de uma Reserva Particular de Proteção da Natureza (RPPN) de Cerrado, com uma área total de 8900 ha. O clima é tropical, com estação seca de inverno, a precipitação anual média varia entre 1300-1500 mm e temperaturas médias máximas entre 26 e 36°C e mínimas entre 8 e 14°C (Antonelli-Filho 2011). Diferentes fisionomias de Cerrado compõem a vegetação da RNST, como campo limpo, campo sujo, cerrado rupestre, cerrado *sensu stricto*, veredas, além de florestas de vale (Antonelli-Filho, 2011).

Com o objetivo de avaliar os efeitos da época e da frequência de fogo na dinâmica da vegetação do estrato herbáceo-arbustivo, utilizamos parcelas experimentais de 30x30m estabelecidas numa área de campo sujo na RNST. Estas parcelas foram estabelecidas em uma área sem presença de espécies invasoras e que havia queimado pela última vez em 2011. A frequência de fogo na área antes ao estabelecimento dos experimentos era alta, queimando a cada 2-3 anos (Daldegan et al., 2014). Diferentes tratamentos com queimas experimentais são aplicados desde 2013: exclusão do fogo (sem queima desde 2011), queima bienal precoce (a cada dois anos no início da estação seca, maio), bienal modal (a cada dois anos no meio da seca, julho), bienal tardia (a cada dois anos no final da seca, outubro) e queima

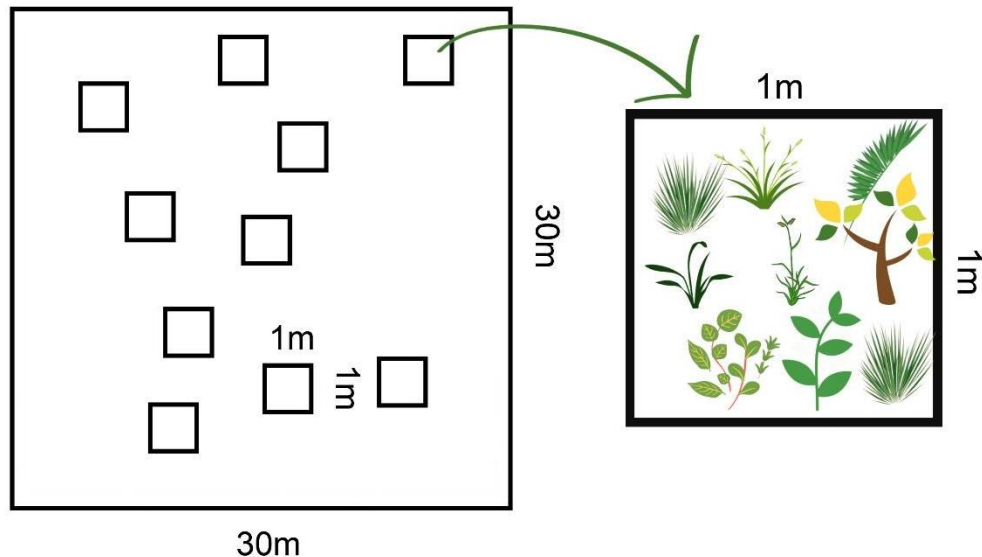
anual (queimadas anualmente no meio da estação seca, julho), com quatro réplicas/tratamento, totalizando 20 parcelas (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição de parcelas com diferentes tratamentos de fogo na área de campo sujo de Cerrado selecionada na RNST. A: queimada anual; E: exclusão do fogo desde 2011; P: queimada precoce bienal; M: queimada modal bienal; T: queimada tardia bienal. *parcelas queimadas acidentalmente em outubro de 2017 e **parcela substituta a partir de janeiro de 2018.



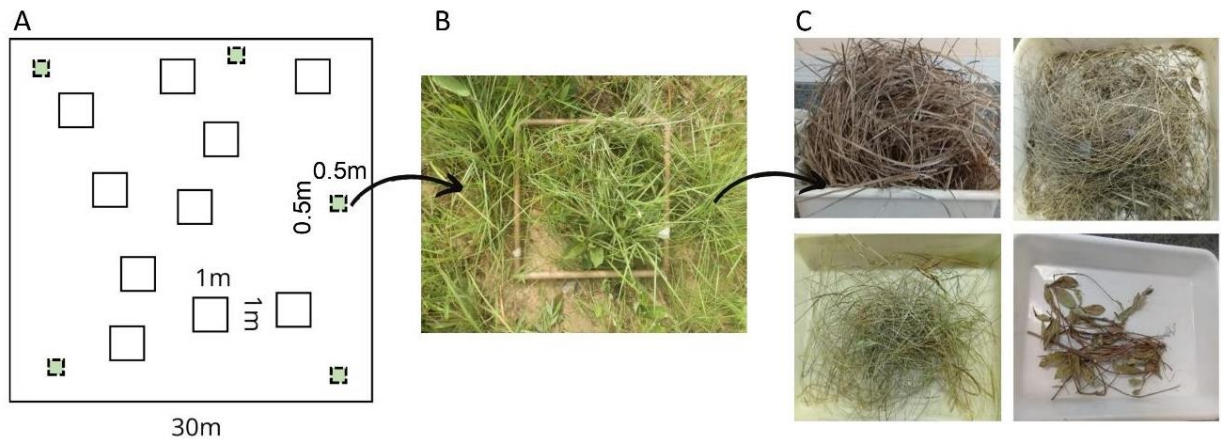
Dentro de cada parcela experimental foram estabelecidas 10 subparcelas permanentes de 1x1m para levantamento da comunidade vegetal e avaliação de parâmetros estruturais das comunidades (porcentagem de solo descoberto e biomassa morta) a cada seis meses (estação chuvosa (janeiro) e seca (julho), Figura 3). Os parâmetros microclimáticos das comunidades sob diferentes frequências de fogo também foram mensurados dentro das subparcelas de 1x1m para que fosse possível relacioná-los com a cobertura da vegetação. Para isso, foram instalados conjuntos de sensores de temperatura, umidade relativa do ar e de iluminância dentro de cinco subparcelas/parcela num período de um ano (após as queimas de julho de 2017 até julho de 2018).

Figura 3 - Distribuição das subparcelas permanentes de 1x1m utilizadas para levantamento da vegetação do estrato herbáceo de campo sujo de Cerrado dentro das parcelas de 30x30m com queimadas experimentais (queimada anual, exclusão do fogo desde 2011, queimadas bienias precoce, modal e tardia).



As amostragens da biomassa aérea foram realizadas dentro de subparcelas de 0.5x0.5m nas bordas das parcelas experimentais (Figura 4A). Nas estações chuvosa e seca de cada ano foram coletadas cinco amostras de biomassa por parcela, sempre posicionando as subparcelas de forma aleatória, mas evitando a coleta em um mesmo ponto através do uso de um mapa indicando pontos já coletados (Figura 4B). Em laboratório as amostras de biomassa foram separadas nos seguintes componentes: graminóides, herbáceas não-graminóides, arbustos e biomassa morta (Figura 4C). Para calcular a diversidade funcional das comunidades, foram medidos atributos funcionais de resposta ao fogo em indivíduos das espécies que correspondem a 80% das comunidades em cada tratamento durante a estação chuvosa de 2022.

Figura 4 - A - Distribuição das subparcelas de 0.5x0.5m utilizadas para amostragem da biomassa aérea do estrato herbáceo de campo sujo de Cerrado dentro das parcelas de 30x30m com queimadas experimentais (queimada anual, exclusão do fogo desde 2011, queimadas bienais precoce, modal e tardia); B - imagem de uma subparcela durante a coleta; C - separação da biomassa nos diferentes componentes.



As queimadas de cada parcela foram realizadas sempre separadamente, a fim de evitar pseudoreplicação, na direção do vento e buscando condições (velocidade do vento, temperatura e período do dia) semelhantes entre todos os tratamentos. Maiores detalhes do delineamento amostral e da metodologia utilizada em todo o trabalho são descritos nos capítulos que compõem a tese.

A tese foi organizada em três capítulos, apresentados em formato de artigos científicos e ao final foram elaboradas as conclusões gerais acerca da influência dos diferentes regimes de fogo no microclima, riqueza e composição de espécies, produtividade e dinâmica da biomassa aérea de comunidade do estrato herbáceo de fisionomias abertas do Cerrado.

No primeiro capítulo **“Fire frequency affects microclimate in open savannas communities distinctly across the seasons”**, investigamos os efeitos de diferentes frequências de fogo (queimadas anuais, bienais e exclusão do fogo desde 2011) nos parâmetros microclimáticos em comunidades vegetais de campo sujo de Cerrado. Nós avaliamos mudanças na umidade relativa, nas temperaturas da superfície do solo e à 3 cm de profundidade e na iluminância a nível do solo durante um ano após a realização das queimadas experimentais e as relacionamos com a cobertura do solo pela vegetação. Nossos resultados elucidam como é o microclima nas savanas abertas após o fogo e nas comunidades excluídas do fogo, e como o microclima de áreas sob diferentes frequências de fogo é afetado pela sazonalidade.

No segundo capítulo **“Fire exclusion and early dry-season fires negatively impact plant communities in tropical open savannas in the Cerrado”**, abordamos a influência de diferentes frequências (queimadas anuais, bienais e exclusão do fogo desde 2011) e épocas de fogo (queimadas bienais precoces, modais e tardias) na riqueza de espécies, na cobertura das diferentes formas de crescimento (herbáceas não-graminóides, graminóides e arbustos) e na estrutura das comunidades do estrato herbáceo de campo sujo ao longo do tempo. Também avaliamos os efeitos de cada regime de fogo após nove anos de experimentos na riqueza de espécies, cobertura das formas de crescimento, estrutura e diversidade taxonômica e funcional das comunidades. Nossos resultados permitiram compreender os aspectos positivos e negativos de cada regime de fogo e assim orientar ações de manejo para utilizá-los de forma eficiente e segura para garantir a conservação das savanas.

No terceiro e último capítulo **“Fire frequency, not fire season matters for aboveground biomass dynamics in open savannas of the Cerrado”** novamente avaliamos a influência de diferentes frequências (queimadas anuais, bienais e exclusão do fogo desde 2011) e épocas de fogo (queimadas bienais precoces, modais e tardias) nas comunidades do estrato herbáceo de campo sujo, mas desta vez investigando como a produtividade e a dinâmica da biomassa aérea é afetada pelos diferentes regimes de fogo ao longo do tempo e após nove anos de experimentos. Analisamos os diferentes componentes da biomassa aérea (biomassa total, morta e viva, esta última dividida em biomassa de graminóides e não graminóides) a fim de identificar mudanças nas quantidades e quais fatores seriam os responsáveis por possíveis mudanças. O conhecimento gerado por este estudo poderá contribuir para estabelecer o regime de fogo indicado para cada objetivo de manejo de forma consciente sobre os efeitos nas comunidades do estrato herbáceo de savanas abertas de Cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, R. C., Hoffmann, W. A., Vasconcelos, H. L., Pilon, N. A., Rossatto, D. R., & Durigan, G. (2017). The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science advances*, 3(8), e1701284.
- Antonelli-Filho, R. 2011. Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador, Cavalcante - Goiás.
- Archibald, S., Lehmann, C. E., Gómez-Dans, J. L., & Bradstock, R. A. (2013). Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(16), 6442-6447.
- Bond, W. J. (2008). What limits trees in C4 grasslands and savannas?. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 39, 641-659.
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, 20(7), 387-394.
- Bond, W. J., & Parr, C. L. (2010). Beyond the forest edge: ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. *Biological conservation*, 143(10), 2395-2404.
- Bond, W. J., Silander Jr, J. A., Ranaivonasy, J., & Ratsirarson, J. (2008). The antiquity of Madagascar's grasslands and the rise of C4 grassy biomes. *Journal of Biogeography*, 35(10), 1743-1758.
- Bond WJ & van Wilgen BW (1996) Fire and plants. 263.
- Boughton, E. H., Bohlen, P. J., & Steele, C. (2013). Season of fire and nutrient enrichment affect plant community dynamics in subtropical semi-natural grasslands released from agriculture. *Biological conservation*, 158, 239-247
- Briggs, J. M., & Knapp, A. K. (1995). Interannual variability in primary production in tallgrass prairie: climate, soil moisture, topographic position, and fire as determinants of aboveground biomass. *American journal of botany*, 82(8), 1024-1030.
- Bustamante, M. M., de Brito, D. Q., Kozovits, A. R., Luedemann, G., de Mello, T. R., de Siqueira Pinto, A., ... & Takahashi, F. S. (2012). Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). *Plant Ecology*, 213, 795-808.
- Castro, E.A. de & Kauffman J.B. (1998) Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14, 263-283.
- Cerling, T. E., Harris, J. M., MacFadden, B. J., Leakey, M. G., Quade, J., Eisenmann, V., & Ehleringer, J. R. (1997). Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. *Nature*, 389(6647), 153-158.
- Coutinho, L. M. (1982). Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In *Ecology of tropical savannas* (pp. 273-291). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Coutinho, L. M. (1990). Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In *Fire in the tropical biota* (pp. 82-105). Springer Berlin Heidelberg.

- Díaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in ecology & evolution*, 16(11), 646-655.
- Edwards, E. J., Osborne, C. P., Strömberg, C. A., Smith, S. A., C4 Grasses Consortium, Bond, W. J., ... & Tiplle, B. (2010). The origins of C4 grasslands: integrating evolutionary and ecosystem science. *science*, 328(5978), 587-591.
- Fidelis, A., Alvarado, S. T., Barradas, A. C. S., & Pivello, V. R. (2018). The year 2017: megafires and management in the Cerrado. *Fire*, 1(3), 49.
- Fidelis A, & Blanco C (2014) Does fire induce flowering in Brazilian subtropical grasslands? *Appl Veg Sci* 17:690-699.
- Fidelis A, Blanco CC, Müller SC, et al. (2012) Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. *J Veg Sci* 23:552-562.17
- Fidelis A, Lyra M, Pivello V (2013) Above and below ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. *J Veg Sci* 24:356-364.
- Fidelis, A., & Pivello, V. R. (2011). Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. *Biodiversidade brasileira*, (2), 12-25.
- Filgueiras TS (2002) Herbaceous plant communities. In: Oliveira PS, Marquis RJ (eds) *Cerrados Brazil Ecol. Nat. Hist. a Neotrop. savanna*. Columbia University Press, New York, pp 121-139
- Hoffmann, W. A., Geiger, E. L., Gotsch, S. G., Rossatto, D. R., Silva, L. C., Lau, O. L., ... & 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(7), 759-768.
- Keeley, J. E., J. G. Pausas, P. W. Rundel, W. J. Bond, And R. A. Bradstock. 2011. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends Plant Sci*. 16: 406–411.
- Keeley, J. E., & Rundel, P. W. (2005). Fire and the Miocene expansion of C4 grasslands. *Ecology Letters*, 8(7), 683-690.
- Knox KJE & Clarke PJ (2005) Nutrient availability induces contrasting allocation and starch formation in resprouting and obligate seeding shrubs. *Funct Ecol* 19:690-698.
- Lattera P, Solbrig O. T (2001) Dispersal strategies, spatial heterogeneity and colonization success in firemanaged grasslands. *Ecol Modell* 139:17-29.
- Lehmann, C. E., Anderson, T. M., Sankaran, M., Higgins, S. I., Archibald, S., Hoffmann, W. A., ... & Bond, W. J. (2014). Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents. *Science*, 343(6170), 548-552.
- Lehmann, C. E., Archibald, S. A., Hoffmann, W. A., & Bond, W. J. (2011). Deciphering the distribution of the savanna biome. *New Phytologist*, 191(1), 197-209.
- Marcos E, Tárrega R, Luis-Calabuig E (2004) Interactions between mediterranean shrub species eight years after experimental fire. *Plant Ecol* 170:235-241.
- Mendonça, R. D., Felfili, J. M., Walter, B. M. T., Silva-Júnior, M. D., Rezende, A. V., Filgueiras, T. S., ... & Ribeiro, J. F. (2008). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília, DF: EMBRAPA Informação e Tecnologia, 2.

- Moraes Falleiro, R., Santana, M. T., & Berni, C. R. (2016). As contribuições do Manejo Integrado do Fogo para o controle dos incêndios florestais nas Terras Indígenas do Brasil. *Biodiversidade brasileira*, 6(2), 88-105.
- Moreira, A. G. (2000). Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of biogeography*, 27(4), 1021-1029.
- Oliveras I, Meirelles ST, Hirakuri VL, et al. (2013) Effects of fire regimes on herbaceous biomass and nutrient dynamics in the Brazilian savanna. *Int J Wildl Fire* 22:368.
- Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., Scarano, F. R., Lewinsohn, T. M., Fonseca, C. R., Meyer, S. T., ... & Pillar, V. D. (2015). Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and distributions*, 21(12), 1455-1460.
- Parr, C. L., Lehmann, C. E., Bond, W. J., Hoffmann, W. A., & Andersen, A. N. (2014). Tropical grassy biomes: misunderstood, neglected, and under threat. *Trends in ecology & evolution*, 29(4), 205-213.
- Pausas J. G., Schwillk D. (2012) Fire and plant Evolution. *New Phytologist* 193 : 301–303
- Pivello, V. R. (2006). Fire management for biological conservation in the Brazilian cerrado. *Savannas and Dry Forests: Linking people with Nature*. Aldershot, England: Ashgate Publishing, 129-154.
- Pivello, V. R., & Norton, G. A. (1996). FIRETOOL: an expert system for the use of prescribed fires in Brazilian savannas. *Journal of Applied Ecology*, 348-356.
- Pivello, V.R.; Oliveras, I; Miranda, H.S.; Haridasan, M.; Sato, M.N. & Meirelles, S.T. 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant and Soil*, 337(1-2): 111–123
- Quesada CA, Miranda AC, Hodnett MG, et al. (2004) Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savana (campo sujo) in Central Brazil. *Ecol Appl* 14:33-41. doi: 10.1890/01-6017
- 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(5), 427-433.
- Rodrigues, C. A., & Fidelis, A. (2022). Should we burn the Cerrado? Effects of fire frequency on open savanna plant communities. *Journal of Vegetation Science*, 33(6).
- Rodrigues, C. A., Zironi, H. L., & Fidelis, A. (2021). Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 482.
- 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.
- Sarmiento, G. (1984). The ecology of neotropical savannas. Harvard University Press.
- Schmidt, I. B., & Eloy, L. (2020). Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora*, 151613.

Schmidt, I. B., Moura, L. C., Ferreira, M. C., Eloy, L., Sampaio, A. B., Dias, P. A., & Berlinck, C. N. (2018). Data from: Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. Dryad Digital Repository,

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), 20359-20364.19

Veldman, J. W., Buisson, E., Durigan, G., Fernandes, G. W., Le Stradic, S., Mahy, G., ... & Bond, W. J. (2015). Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(3), 154-162.

Whelan, R. J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge university press.

Zhao, Y., Liu, Z., & Wu, J. (2020). Grassland ecosystem services: A systematic review of research advances and future directions. *Landscape Ecology*, 1-22.

References

- Abreu, R. C., Hoffmann, W. A., Vasconcelos, H. L., Pilon, N. A., Rossatto, D. R., & Durigan, G. (2017). The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science advances*, 3(8), e1701284.
- Amundson, R. G., Ali, A. R., & Belsky, A. J. (1995). Stomatal responsiveness to changing light intensity increases rain-use efficiency of below-crown vegetation in tropical savannas. *Journal of Arid Environments*, 29(2), 139-153.
- An, N., Lu, N., Fu, B., Chen, W., Keyimu, M., & Wang, M. (2021). Root trait variation of seed plants from China and the primary drivers. *Journal of Biogeography*, 48(10), 2402-2417.
- Antonelli-Filho, R. (2011). Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador.

- 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.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed- Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.
- Bond, W. J., & Van Wilgen, B. W. (1996). *Plants and fire*. Chapman, New York.
- Cabal, C., & Rubenstein, D. I. (2018). Above-and below-ground allocation and functional trait response to soil water inputs and drying rates of two common savanna grasses. *Journal of Arid Environments*, 157, 1-12.
- Carlos, N. A., & Rossatto, D. R. (2017). Leaf traits combinations may explain the occurrence of savanna herbaceous species along a gradient of tree encroachment. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 29(3), 155-163.
- Chidumayo, E. N. (2001). Climate and phenology of savanna vegetation in southern Africa. *Journal of Vegetation Science*, 347-354.
- Coutinho, L. M. (1976). Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do Cerrado (Tese (Livre Docência). Universidade de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/41/tde-04092014-095647/>.
- Coutinho, L. M. (1978). O conceito do cerrado. *Revista brasileira de Botânica*, 1, 17-23ri
- Coutinho, L. M. (1982). Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In *Ecology of tropical savannas* (pp. 273-291). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Daibes, L. F., Zupo, T., Silveira, F. A., & Fidelis, A. (2017). A field perspective on effects of fire and temperature fluctuation on Cerrado legume seeds. *Seed Science Research*, 27(2), 74-83.
- Daibes, L. F., Martins, A. R., Silveira, F. A., & Fidelis, A. (2021). Seed tolerance to post-fire temperature fluctuation of Cerrado legume shrubs with micromorphological implications. *Flora*, 275, 151761.
- Daldegan, G., de Carvalho, O., Guimarães, R., Gomes, R., Ribeiro, F., & McManus, C. (2014). Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. *Remote Sensing*, 6(10), 9873- 9894.
- Davies-Colley, R. J., Payne, G. W., & Van Elswijk, M. (2000). Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology*, 111-121.
- Davies, A. B., van Rensburg, B. J., Eggleton, P., & Parr, C. L. (2013). Interactive effects of fire, rainfall, and litter quality on decomposition in savannas: frequent fire leads to contrasting effects. *Ecosystems*, 16(5), 866-880.

Dodonov, P., Harper, K. A., & Silva-Matos, D. M. (2013). The role of edge contrast and forest structure in edge influence: vegetation and microclimate at edges in the Brazilian cerrado. *Plant ecology*, 214(11), 1345-1359.

Dong, N., Prentice, I. C., Wright, I. J., Evans, B. J., Togashi, H. F., Caddy-Retalic, S., ... & Lowe, A. J. (2020). Components of leaf-trait variation along environmental gradients. *New Phytologist*, 228(1), 82-94.

Eiten, G. (1972). The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, 38(2), 201-341

Fidelis, A., Blanco, C. C., Müller, S. C., Pillar, V. D., & Pfadenhauer, J. (2012). Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. *Journal of Vegetation Science*, 23(3), 552-562.

Fidelis, A., & Blanco, C. (2014). Does fire induce flowering in Brazilian subtropical grasslands?. *Applied Vegetation Science*, 17(4), 690-699.

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.

Furquim, L. C., dos Santos, M. P., de Andrade, C. A. O., de Oliveira, L. A., & Evangelista, A. W. P. (2018). Relação entre plantas nativas do Cerrado e água. *Científic@-Multidisciplinary Journal*, 5(2), 146-156.

Gleeson, S. K., & Tilman, D. (1992). Plant allocation and the multiple limitation hypothesis. *The American Naturalist*, 139(6), 1322-1343.

Gorgone-Barbosa, E., Pivello, V. R., Bautista, S., Zupo, T., Rissi, M. N., & Fidelis, A. (2015). How can an invasive grass affect fire behavior in a tropical savanna? A community and individual plant level approach. *Biological Invasions*, 17(1), 423-431.

Govender, N., Trollope, W. S., & Van Wilgen, B. W. (2006). The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. *Journal of Applied Ecology*, 43(4), 748-758.

Gowe, A. K., & Brewer, J. S. (2005). The evolution of fire-dependent flowering in goldenasters (*Pityopsis* spp.) 1. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 132(3), 384-400.

Hoffmann, W. A., Jaconis, S. Y., McKinley, K. L., Geiger, E. L., Gotsch, S. G., & Franco, A. C. (2012). Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna–forest boundaries. *Austral Ecology*, 37(6), 634-643.

Hulbert, L.C. (1988). Causes of fire effects in tallgrass prairie. *Ecology* 69: 46–58.

Knapp, A.K. (1984). Post-burn differences in solar radiation, leaf temperature and water stress influencing production in a lowland tallgrass prairie. *American Journal of Botany* 71: 220–227.

Lamont, B. B., & Downes, K. S. (2011). Fire-stimulated flowering among resprouters and geophytes in Australia and South Africa. *Plant Ecology*, 212(12), 2111-2125.

Larcher, W. (1981). Effects of low temperature stress and frost injury on plant productivity. *Physiological processes limiting plant productivity*, 253-269.

Le Maitre, D. C., & Brown, P. J. (1992). Life cycles and fire-stimulated flowering in geophytes. In *Fire in South African mountain fynbos* (pp. 145-160). Springer, Berlin, Heidelberg.

Lenth, R.V. (2021). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.5.5-1. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>

Lloyd, P.S. 1968. The ecological significance of fire in limestone grassland communities of the Derbyshire Dales. *Journal of Ecology* 56: 811–826.

Matthews, S. (2013). Dead fuel moisture research: 1991–2012. *International Journal of Wildland Fire*, 23(1), 78-92.

Miranda, A. C., Miranda, H. S., Dias, I. D. F. O., & de Souza Dias, B. F. (1993). Soil and air temperatures during prescribed cerated fires in Central Brazil. *Journal of tropical ecology*, 9(3), 313-320.

Miranda, H. S., Sato, M. N., Neto, W. N., & Aires, F. S. (2009). Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. In *Tropical fire ecology* (427-450). Springer, Berlin, Heidelberg.

Moreira, F., Rego, F. C., & Ferreira, P. G. (2001). Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology*, 16(6), 557-567.

Norden, A. H., & Kirkman, L. K. (2004). Factors controlling the fire-induced flowering response of the federally endangered *Schwalbea americana* L.(Scrophulariaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society*, 16-22.

Oliveras, I., Meirelles, ST, Hirakuri, VL, Freitas, CR, Miranda, HS, & Pivello, VR (2012). Efeitos dos regimes de fogo sobre a biomassa herbácea e a dinâmica de nutrientes no cerrado brasileiro. *International Journal of Wildland Fire* , 22 (3), 368-380.

Pilon, N. A., Durigan, G., Rickenback, J., Pennington, R. T., Dexter, K. G., Hoffmann, W. A., ...Lehmann, C. E. (2021a). Shade alters savanna grass layer structure and function along a gradient of canopy cover. *Journal of Vegetation Science*, 32(1), e12959.

Pilon, N. A., Cava, M. G., Hoffmann, W. A., Abreu, R. C., Fidelis, A., & Durigan, G. (2021b). The diversity of post-fire regeneration strategies in the cerrado ground layer. *Journal of Ecology*, 109(1), 154-166.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE).

Rodrigues, C. A., & Fidelis, A. (2022). Should we burn the Cerrado? Effects of fire frequency on open savanna plant communities. *Journal of Vegetation Science*, e13159.

Rodrigues, C. A., Zironi, H. L., & Fidelis, A. (2021). Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 482, 118850.

Rossatto, D. R., de Araújo, P. E., da Silva, B. H. P., & Franco, A. C. (2018). Photosynthetic responses of understory savanna plants: Implications for plant persistence in savannas under tree encroachment. *Flora*, 240, 34-39.

Santos, A. C., da Rocha Montenegro, S., Ferreira, M. C., Barradas, A. C. S., & Schmidt, I. B. (2021). Managing fires in a changing world: Fuel and weather determine fire behavior and safety in the neotropical savannas. *Journal of environmental management*, 289, 112508.

Sarmiento, G. (1992). Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas. *Journal of Vegetation Science*, 3(3), 325-336

Saugier, B., & Katerji, N. (1991). Alguns fatores vegetais que controlam a evapotranspiração. *Meteorologia Agrícola e Florestal*, 54 (2-4), 263-277.

Scanlon, T. M., & Albertson, J. D. (2004). Canopy scale measurements of CO₂ and water vapor exchange along a precipitation gradient in southern Africa. *Global Change Biology*, 10(3), 329-341.

Silveira, J. M., Barlow, J., Krusche, A. V., Orwin, K. H., Balch, J. K., & Moutinho, P. (2009). Effects of experimental fires on litter decomposition in a seasonally dry Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, 25(6), 657-663.

Silveira, F. A., Ribeiro, R. C., Oliveira, D. M., Fernandes, G. W., & Lemos-Filho, J. P. (2012). Evolution of physiological dormancy multiple times in Melastomataceae from Neotropical montane vegetation. *Seed Science Research*, 22(1), 37-44.

Smits, K. M., Ngo, V. V., Cihan, A., Sakaki, T., & Illangasekare, T. H. (2012). An evaluation of models of bare soil evaporation formulated with different land surface boundary conditions and assumptions. *Water Resources Research*, 48(12).

Trollope, W. S. W. (1982). Ecological effects of fire in South African savannas. In *Ecology of tropical savannas* (292-306). Springer, Berlin, Heidelberg.

Vetaas, O. R. (1992). Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *Journal of vegetation science*, 3(3), 337-344.

Zanzarini V., Andersen AN, Fidelis, A. 2022. Flammability in tropical savannas: variation among growth-forms and seasons in Cerrado. *Biotropica*.

Zheng, S., Webber, B. L., Didham, R. K., Chen, C., & Yu, M. (2021). Disentangling biotic and abiotic drivers of intraspecific trait variation in woody plant seedlings at forest edges. *Ecology and evolution*, 11(14), 9728-9740.

Zirondi, H., Ooi, M. K., & Fidelis, A. (2021). Fire-triggered flowering is the dominant post-fire strategy in a tropical savanna. *Journal of Vegetation Science*, 32(2), e12995.

Whelan, R. J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge university press.

Wolf, K. D., Higuera, P. E., Davis, K. T., & Dobrowski, S. Z. (2021). Wildfire impacts on forest microclimate vary with biophysical context. *Ecosphere*, 12(5), e03467.

References

- Abreu, R. C., Hoffmann, W. A., Vasconcelos, H. L., Pilon, N. A., Rossatto, D. R., & Durigan, G. (2017). The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science advances*, 3(8), e1701284.
- Antonelli-Filho, R. (2011). Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador, Cavalcante - Goiás.
- Archibald, S., Lehmann, C. E., Gómez-Dans, J. L., & Bradstock, R. A. (2013). Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(16), 6442-6447.
- Baselga, A., Orme, D., Villeger, S., Bortoli, J., Leprieux, F. & Logez, M. (2020) Betapart: partitioning Beta diversity into turnover and Nestedness components. R package version, 1(5), 2. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=betapart>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Bombo, A. B., Appezzato-da-Glória, B., & Fidelis, A. (2022). Fire exclusion changes belowground bud bank and bud-bearing organ composition jeopardizing open savanna resilience. *Oecologia*, 199(1). <https://doi.org/10.1007/s00442-022-05172-1>
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global “herbivore”: The ecology and evolution of flammable ecosystems. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 20, Issue 7). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- Bond, W.J. & Midgley, J.J. (2001) Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(1), 45–51
- Bond, W. J., & van Wilgen, B. W. (1996). *Fire and Plants.*, (Chapman: New York, NY, USA).
- Bond, W. J., Woodward, F. I., & Midgley, G. F. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New phytologist*, 165(2), 525-538.
- Cáceres M, Legendre P (2009). “Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference.” *_Ecology_*, *90*, 3566-3574. doi:10.1890/08-1823.1 <<https://doi.org/10.1890/08-1823.1>>.
- Clarke, P.J., Lawes, M.J., Midgley, J.J., Lamont, B.B., Ojeda, F., Burrows, G.E. et al. (2013) Resprouting as a key functional trait: how buds, protection, their and resources drive persistence after fire. *New Phytologist*, 197(1), 19–35.
- Cornelissen, J. H., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., ... & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany*, 51(4), 335-380.
- Daibes, L.F., Gorgone-Barbosa, E., Silveira, F.A., Fidelis, A., 2018. Gaps critical for the survival of exposed seeds during Cerrado fires. *Aust. J. Bot.* 66 (2), 116–123.
- Daldegan, G. A., de Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Gomes, R. A. T., de Figueiredo Ribeiro, F., & McManus, C. (2014). Spatial patterns of fire recurrence

using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. *Remote Sensing*, 6(10), 9873-9894.

Damasceno, G., Souza, L., Pivello, V. R., Gorgone-Barbosa, E., Girollo, P. Z., & Fidelis, A. (2018). Impact of invasive grasses on Cerrado under natural regeneration. *Biological Invasions*, 20(12), 3621-3629.

Dantas VD, Pausas JG. The lanky and the corky: fire-escape strategies in savanna woody species. *Journal of Ecology*. 2013 Sep;101(5):1265-72.

Díaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in ecology & evolution*, 16(11), 646-655.

Dos Santos, A. C., da Rocha Montenegro, S., Ferreira, M. C., Barradas, A. C. S., & Schmidt, I. B. (2021). Managing fires in a changing world: Fuel and weather determine fire behavior and safety in the neotropical savannas. *Journal of environmental management*, 289, 112508.

Dukes, J. S. (2001). Biodiversity and invasibility in grassland microcosms. *Oecologia*, 126, 563-568.

Dunin, F. X., Miranda, H. S., Miranda, A. C., & Lloyd, J. (1997). Evapotranspiration responses to burning of campo sujo savanna in Central Brasil. In *Bushfire'97: Australian bushfire conference 8-10 July 1997* (pp. 146-151). CSIRO Tropical Ecosystems Research Centre.

Eamus D., Hutley L.B., O'Grady A.P. (2001) Daily and seasonal patterns of carbon and water fluxes above a north Australian savanna. *Tree Physiology*, 21, 977–988.

Eiten, G. (1972.). The Cerrado Vegetation of Brazil. In *Source: Botanical Review* (Vol. 38, Issue 2).

Eloy, L., Schmidt, I. B., Borges, S. L., Ferreira, M. C., & Dos Santos, T. A. (2019). Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. *Ambio*, 48, 890-899.

Ferreira-Alves, R., & Romero, R. (2020). *Microlíchia rubra* (Melastomataceae), a remarkable new species from Goiás, Brazil. *Phytotaxa*, 458(4), 294-300.

Fidelis, A., Alvarado, S. T., Barradas, A. C. S., & Pivello, V. R. (2018). The year 2017: Megafires and management in the Cerrado. *Fire*, 1(3), 49.

Fidelis, A., Blanco, C.C., Müller, S.C., Pillar, V.D. & Pfadenhauer, J. (2012) Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. *Journal of Vegetation Science*, 23(3), 552–562

Fidelis, A., & Blanco, C. (2014). Does fire induce flowering in Brazilian subtropical grasslands?. *Applied Vegetation Science*, 17(4), 690-699.

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.

Fornara, D. A., & Tilman, D. (2008). Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, 96(2), 314-322.

Franco A.C.. (2002) Ecophysiology of woody plants. In: P.S. Oliveira, R.J. Marquis (Eds) *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, pp. 178–197.

Franco AC, Bustamante M, Caldas LS, Goldstein G, Meinzer FC, Kozovits AR, Rundel P, Coradin VTR (2005) Leaf functional traits of neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees* 19:326–335

Goldstein G., Meinzer F.C., Bucci S.J., Scholz F.G., Franco A.C., Hoffmann W.A. (2008) Water economy of Neotropical savanna trees: six paradigms revisited. *Tree Physiology*, 28, 395–404.

Govender, N., Trollope, W. S., & Van Wilgen, B. W. (2006). The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. *Journal of Applied Ecology*, 43(4), 748-758.

He, T., Lamont, B. B., & Pausas, J. G. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*, 94(6), 1983-2010.

Krawchuk, M. A., & Moritz, M. A. (2011). Constraints on global fire activity vary across a resource gradient. *Ecology*, 92(1), 121-132.

Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116–126.
<https://doi.org/10.1071/WF07049>

Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., & Bradstock, R. A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. In *Trends in Plant Science* (Vol. 16, Issue 8). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.04.002>

Kembel, S.W. , Cowan, P.D., Helmus, M.R. , Cornwell, W.K. , Morlon, H. , Ackerly, D.D., Blomberg, S.P. & Webb, C.O. (2010). Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics* 26:1463-1464.

Knapp, E. E., Estes, B. L., & Skinner, C. N. (2009). Ecological effects of prescribed fire season: a literature review and synthesis for managers.

Laliberté, E., Legendre, P., and B. Shipley. (2014). FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. R package version 1.0-12.2.

Lamont, B. B., Enright, N. J., & He, T. (2011). Fitness and evolution of resprouters in relation to fire. *Plant Ecology*, 212, 1945-1957.

Lattera, P., & Solbrig, O. T. (2001). Dispersal strategies, spatial heterogeneity and colonization success in fire-managed grasslands. In *Ecological Modelling* (Vol. 139). www.elsevier.com/locate/ecolmodel

Lenth, R. (2023). *_emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_*. R package version 1.8.8, <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.

Loiola, P. P., Cianciaruso, M. V., Silva, I. A., & Batalha, M. A. (2010). Functional diversity of herbaceous species under different fire frequencies in Brazilian savannas. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(10), 674-681.

- Lüdtke, D. (2018). "ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models." *Journal of Open Source Software*, 3(26), 772. doi:10.21105/joss.00772 <<https://doi.org/10.21105/joss.00772>>.
- Mendes, T. P., Simon, M. F., & da Silva, M. J. (2022). Three New Species of *Mimosa* L.(Leguminosae) from the Brazilian Cerrado Hotspot of Biodiversity. *Brittonia*, 74(4), 361-380.
- Moreira, A. G. (2000). Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of biogeography*, 27(4), 1021-1029.
- Moreira, B., Tormo, J., Estrelles, E., Pausas, J.G., 2010. Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora. *Ann. Bot.* 105 (4), 627–635.
- Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., & Ffolliott, P. F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest ecology and management*, 122(1-2), 51-71.
- Noble, I. R., & Slatyer, R. O. (1980). The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Vegetatio*, 43, 5-21.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R, O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.M., Szoecs, E. & Wagner, H. (2020) *Vegan: community Ecology package*. R package version 2.5–7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira, P. E., & Gibbs, P. E. (2000). Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. *Flora*, 195(4), 311-329.
- Oliveira, P. T. S., Nearing, M. A., Moran, M. S., Goodrich, D. C., Wendland, E., & Gupta, H. V. (2014). Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. *Water Resources Research*, 50(9), 7100-7114.
- Parr, C.L., Lehmann, C.E., Bond, W.J., Hoffmann, W.A., Andersen, A.N., 2014. Tropical grassy biomes: misunderstood, neglected, and under threat. *Trends Ecol. Evol.* 29 (4), 205–213
- 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(4), 1435-1448.
- Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., ... & Cornelissen, J. H. C. (2016). Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, 64(8), 715-716.
- Pilon, N.A.L., Cava, M.G., Hoffmann, W.A., Abreu, R.C., Fidelis, A. & Durigan, G. (2021) The diversity of post-fire regeneration strategies in the cerrado ground layer. *Journal of Ecology*, 109(1), 154–166.
- Pilon, N.A.L., Hoffmann, W.A., Abreu, R.C.R. & Durigan, G. (2018) Quantifying the short-term flowering after fire in some plant communities of a cerrado grassland. *Plant Ecology and Diversity*, 11, 259–266.

- Pivello, V. R. (2011). The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire ecology*, 7, 24-39.
- Pivello, V. R., & Coutinho, L. M. (1996). A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management*, 87(1-3), 127-138.
- Pivello, V. R., & Norton, G. A. (1996). FIRETOOL: an expert system for the use of prescribed fires in Brazilian savannas. *Journal of Applied ecology*, 348-356.
- Pivello, V. R., Oliveras, I., Miranda, H. S., Haridasan, M., Sato, M. N., & Meirelles, S. T. (2010). Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant and Soil*, 337(1). <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0508-x>
- Pivello, V. R., Vieira, I., Christianini, A. V., Ribeiro, D. B., da Silva Menezes, L., Berlinck, C. N., ... & Overbeck, G. E. (2021). Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 233-255.
- Prieur-Richard, A. H., & Lavorel, S. (2000). Invasions: the perspective of diverse plant communities. *Austral Ecology*, 25(1), 1-7.
- Prior, L. D., Bowman, D. M., & Eamus, D. (2004). Seasonal differences in leaf attributes in Australian tropical tree species: family and habitat comparisons. *Functional Ecology*, 18(5), 707-718.
- Quesada, C. A., Miranda, A. C., Hodnett, M. G., Santos, A. J. B., Miranda, H. S., & Breyer, L. M. (2004). Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. *Ecological Applications*, 14(4 SUPPL.). <https://doi.org/10.1890/01-6017>
- R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado.
- 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(5), 427-433. <https://doi.org/10.1071/WF14210>
- Rodrigues, C. A., & Fidelis, A. (2022). Should we burn the Cerrado? Effects of fire frequency on open savanna plant communities. *Journal of Vegetation Science*, 33(6). <https://doi.org/10.1111/jvs.13159>
- Rodrigues, C. A., & Fidelis, A.(in preparation)a. Fire frequency, not fire season matters for aboveground biomass dynamics in open savannas of the Cerrado
- Rodrigues, C. A., & Fidelis, A.(in preparation)b. Microclimate is affected by fire frequency and seasonality in tropical open savannas of the Cerrado
- Rodrigues, C. A., Zironi, H. L., & Fidelis, A. (2021). Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 482. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118850>
- Rossatto, D. R., & Franco, A. C. (2017). Expanding our understanding of leaf functional syndromes in savanna systems: the role of plant growth form. *Oecologia*, 183, 953-962.

- Rossatto, D. R., Hoffmann, W. A., de Carvalho Ramos Silva, L., Haridasan, M., Sternberg, L. S., & Franco, A. C. (2013). Seasonal variation in leaf traits between congeneric savanna and forest trees in Central Brazil: implications for forest expansion into savanna. *Trees*, 27, 1139-1150.
- Rossatto, D. R., Silva, L. D. C. R., Villalobos-Vega, R., Sternberg, L. D. S. L., & Franco, A. C. (2012). Depth of water uptake in woody plants relates to groundwater level and vegetation structure along a topographic gradient in a neotropical savanna. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 259-266.
- Russell-Smith, J., & Yates, C. P. (2007). Australian savanna fire regimes: context, scales, patchiness. *Fire ecology*, 3(1), 48-63.
- São-Mateus, W. M., Simon, M. F., de Queiroz, L. P., Jardim, J. G., & Cardoso, D. B. (2019). Two new species of *Harpalyce* (Leguminosae, Papilionoideae) from the Cerrado hotspot of biodiversity in Brazil. *Kew bulletin*, 74, 1-11.
- Sarmiento, G., Goldstein, G., & Meinzer, F. (1985). Adaptive strategies of woody species in neotropical savannas. *Biological Reviews*, 60(3), 315-355.
- Schmidt, I.B. & Eloy, L. (2020) Fire regime in the Brazilian savanna: recent changes, policy and management. *Flora*, 268, 151613.
- Schmidt, I.B., Moura, L.C., Ferreira, M.C., Eloy, L., Sampaio, A.B., Dias, P.A. et al. (2018) Fire management in the Brazilian savanna: first steps and the way forward. *Journal of Applied Ecology*, 55(5), 2094–2101.
- Scholes R.J., Archer S.R. (1997) Tree–Grass interactions in Savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 517–544.
- Staver, A. C., Archibald, S., & Levin, S. (2011). Tree cover in sub-Saharan Africa: rainfall and fire constrain forest and savanna as alternative stable states. *Ecology*, 92(5), 1063-1072.
- Teixeira, J., Souza, L., Le Stradic, S., & Fidelis, A. (2022). Fire promotes functional plant diversity and modifies soil carbon dynamics in tropical savanna. *Science of The Total Environment*, 812, 152317.
- Tilman, D., Reich, P. B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., & Lehman, C. (2001). Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294(5543), 843-845.
- Whelan, R.J. (1986) Seed dispersal in relation to fire. *Seed dispersal*, 237–271
- Whelan, R. J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge University press.
- Wickham, H., & Wickham, H. (2016). *Data analysis* (pp. 189-201). Springer International Publishing.
- Wieczorkowski, J. D., & Lehmann, C. E. (2022). Encroachment diminishes herbaceous plant diversity in grassy ecosystems worldwide. *Global Change Biology*, 28(18), 5532-5546.
- Wood, S.N. (2011) Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73(1):3-36

- Zanzarini, V., Andersen, A. N., & Fidelis, A. (2022). Flammability in tropical savannas: Variation among growth forms and seasons in Cerrado. *Biotropica*, 54(4), 979-987.
- Zirondi, H., Ooi, M.K. & Fidelis, A. (2021) Fire-triggered flowering is the dominant post-fire strategy in a tropical savanna. *Journal of Vegetation Science*, 32(2), e12995
- Zhao, Y., Liu, Z., Wu, J., 2020. Grassland ecosystem services: A systematic review of research advances and future directions. *Landscape Ecol.* 1–22.
- Zirondi, H.L., Silveira, F.A., Fidelis, A., 2019. Fire effects on seed germination: Heat shock and smoke on permeable vs impermeable seed coats. *Flora* 253, 98–106.
- Zupo, T., Daibes, L. F., Pausas, J. G., & Fidelis, A. (2021). Post-fire regeneration strategies in a frequently burned Cerrado community. *Journal of Vegetation Science*, 32(1). <https://doi.org/10.1111/jvs.12968>

References

- Antonelli-Filho, R. (2011). Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador, Cavalcante - Goiás.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Bombo, A. B., Appezzato-da-Glória, B., & Fidelis, A. (2022). Fire exclusion changes belowground bud bank and bud-bearing organ composition jeopardizing open savanna resilience. *Oecologia*, 199(1). <https://doi.org/10.1007/s00442-022-05172-1>
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global “herbivore”: The ecology and evolution of flammable ecosystems. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 20, Issue 7). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- Bond, W. J. (2005). ‘Large parts of the world are brown or black : A different view on the “Green World” hypothesis’, *Journal of Vegetation Science*, 16, pp. 261–266.
- Bova, A. S., and Dickinson, M. B. (2005). Linking surface-fire behavior, stem heating, and tissue necrosis. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(4), 814-822.

- Briggs, J. M., & Knapp, A. K. (1995). Interannual variability in primary production in tallgrass prairie: climate, soil moisture, topographic position, and fire as determinants of aboveground biomass. *American journal of botany*, 82(8), 1024-1030.
- Bustamante, M. M., de Brito, D. Q., Kozovits, A. R., Luedemann, G., de Mello, T. R., de Siqueira Pinto, A., ... & Takahashi, F. S. (2012). Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). *Plant Ecology*, 213, 795-808.
- 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.
- Clarke, P. J., Lawes, M. J., Midgley, J. J., Lamont, B. B., Ojeda, F., Burrows, G. E., ... & Knox, K. J. E. (2013). Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New phytologist*, 197(1), 19-35.
- Coutinho, L. M. (1978). O conceito de Cerrado. *Rev. Brasil. Bot*, 1(1), 17-23
- Coutinho, L. M. (1990). Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado (J. G. Goldammer, Ed.; pp. 82–105). Springer Berlin Heidelberg.
- Coutinho, L. M. (1982). Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In *Ecology of tropical savannas* (pp. 273-291). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Coutinho, L. M. (1990). Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In *Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges* (pp. 82-105). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Daldegan, G. A., de Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Gomes, R. A. T., de Figueiredo Ribeiro, F., & McManus, C. (2014). Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. *Remote Sensing*, 6(10), 9873-9894.
- Dhillion, S. S., & Anderson, R. C. (1994). Production on burned and unburned sand prairies during drought and non-drought years. *Vegetation*, 115, 51-59.
- Dos Santos, A. C., da Rocha Montenegro, S., Ferreira, M. C., Barradas, A. C. S., & Schmidt, I. B. (2021). Managing fires in a changing world: Fuel and weather determine fire behavior and safety in the neotropical savannas. *Journal of environmental management*, 289, 112508.
- Eiten, G. (1972.). The Cerrado Vegetation of Brazil. In *Source: Botanical Review* (Vol. 38, Issue 2).
- Fidelis, A., Blanco, C. C., Müller, S. C., Pillar, V. D., & Pfadenhauer, J. (2012). Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. *Journal of Vegetation Science*, 23(3), 552-562.
- Fidelis, A., Lyra, M. F. D. S., & Pivello, V. R. (2013). Above-and below-ground biomass and carbon dynamics in B razilian Cerrado wet grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 24(2), 356-364.
- Fidelis, A., & Pivello, V. (2011). Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? *Biodiversidade Brasileira*, 1(2).

- Frost, P. H. G., & Robertson, F. (1987). The ecological effects of fire in savannas. In 'Determinants of Tropical Savannas'. (Ed. BH Walker) pp. 93–141.
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International journal of wildland fire*, 18(1), 116-126.
- Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., & Bradstock, R. A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in plant science*, 16(8), 406-411.
- Keeley, J. E., & Rundel, P. W. (2005). Fire and the Miocene expansion of C4 grasslands. *Ecology Letters*, 8(7), 683-690.
- Knapp, E. E., Estes, B. L., & Skinner, C. N. (2009). Ecological effects of prescribed fire season: a literature review and synthesis for managers.
- Knapp, A. K., & Seastedt, T. R. (1986). Detritus Accumulation Limits Productivity of Tallgrass Prairie (Vol. 36, Issue 10).
- Lenth, R. (2023). *_emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_*. R package version 1.8.8, <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.
- Le Stradic, S., Roumet, C., Durigan, G., Cancian, L., & Fidelis, A. (2021). Variation in biomass allocation and root functional parameters in response to fire history in Brazilian savannas. *Journal of Ecology*, 109(12), 4143-4157.
- Lüdtke, D. (2018). "ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models." *_Journal of Open Source Software_*, 3(26), 772. doi:10.21105/joss.00772 <<https://doi.org/10.21105/joss.00772>>.
- Miranda, H. S., Bustamante, M. M., & Miranda, A. C. (2002). The fire factor. In *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna* (pp. 51-68). Columbia University Press.
- 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.
- Ojima, D. S., Schimel, D. S., Parton, W. J., & Owensby, C. E. (1994). Long-and short-term effects of fire on nitrogen cycling in tallgrass prairie. *Biogeochemistry*, 24, 67-84.
- Oliveras, I., Meirelles, S. T., Hirakuri, V. L., Freitas, C. R., Miranda, H. S., & Pivello, V. R. (2013). Effects of fire regimes on herbaceous biomass and nutrient dynamics in the Brazilian savanna. *International Journal of Wildland Fire*, 22(3). <https://doi.org/10.1071/WF10136>
- Oliveira, U., Soares-Filho, B., de Souza Costa, W. L., Gomes, L., Bustamante, M., & Miranda, H. (2021). Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 482, 118889.
- Pilon, N.A.L. (2019). Efeitos de distúrbios naturais e da supressão do fogo na diversidade e estrutura do estrato herbáceo-arbustivo do Cerrado. Tese (Doutorado

em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

Pivello, V. R., & Coutinho, L. M. (1992). Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of tropical ecology*, 8(4), 487-497.

Pivello, V. R., Oliveras, I., Miranda, H. S., Haridasan, M., Sato, M. N., & Meirelles, S. T. (2010). Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant and Soil*, 337(1). <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0508-x>

Quesada, C. A., Miranda, A. C., Hodnett, M. G., Santos, A. J. B., Miranda, H. S., & Breyer, L. M. (2004). Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. *Ecological Applications*, 14(4 SUPPL.). <https://doi.org/10.1890/01-6017>

Ramos-Neto, M. B., & Pivello, V. R. (2000). Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. *Environmental management*, 26, 675-684.

R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Rissi, M. N. (2016). Efeito da época da queima na dinâmica de campo sujo de Cerrado. Tese (Doutorado em Ciência Biológicas - Biologia Vegetal) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.

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(5), 427–433. <https://doi.org/10.1071/WF14210>

Rodrigues, C. A., & Fidelis, A. (2022). Should we burn the Cerrado? Effects of fire frequency on open savanna plant communities. *Journal of Vegetation Science*, 33(6). <https://doi.org/10.1111/jvs.13159>

Rodrigues, C. A., Zironi, H. L., & Fidelis, A. (2021). Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 482. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118850>

Sarmiento, G. (1984). *The ecology of neotropical savannas*. Harvard University Press.

Savadogo, P., Tigabu, M., Sawadogo, L., & Odén, P. C. (2009). Herbaceous phytomass and nutrient concentrations of four grass species in Sudanian savanna woodland subjected to recurrent early fire. *African Journal of Ecology*, 47(4), 699-710.

Van de Vijver, C. A. D. M., Poot, P., & Prins, H. H. (1999). Causes of increased nutrient concentrations in post-fire regrowth in an East African savanna. *Plant and Soil*, 214, 173-185.

Wan, S., Hui, D., & Luo, Y. (2001). Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: a meta-analysis. *Ecological Applications*, 11(5), 1349-1365.

Wickham, H., & Wickham, H. (2016). *Data analysis* (pp. 189-201). Springer International Publishing.

Whelan, R. J. (1995). The ecology of fire. Cambridge University press.

Wood, S.N. (2011) Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73(1):3-36

Zimmermann, J., Higgins, S. I., Grimm, V., Hoffmann, J., & Linstädter, A. (2010). Grass mortality in semi-arid savanna: the role of fire, competition and self-shading. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 12(1), 1-8.

Zupo, T., Daibes, L. F., Pausas, J. G., & Fidelis, A. (2021). Post-fire regeneration strategies in a frequently burned Cerrado community. *Journal of Vegetation Science*, 32(1). <https://doi.org/10.1111/jvs.12968>

Zupo, T., Gorgone-Barbosa, E., Ninno Rissi, M., & Daibes, L. F. (2022). Experimental burns in an open savanna: Greater fuel loads result in hotter fires. *Austral Ecology*, 47(5), 1101-1112.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou identificar os efeitos de diferentes regimes de fogo sobre importantes aspectos das comunidades vegetais do estrato herbáceo de campo sujo de Cerrado a fim de apoiar ações de manejo para conservação das fisionomias abertas de savana. A conservação de ecossistemas abertos, transcende a proteção da biodiversidade, o que por si só já seria fundamental (Parr et al., 2012). De sua conservação dependem a manutenção de serviços ecossistêmicos valiosíssimos, como a regulação do ciclo da água e nutrientes, armazenamento de carbono, regulação do clima, subsistência de populações humanas através de recursos da biodiversidade, além de diversos serviços culturais (Russell-Smith & Cooke, 2009; Richards & Andersen, 2012; Olsson & Ouattara, 2013; Parr et al., 2014; Zhao et al., 2020). Para além da degradação de campos e savanas para sua conversão em áreas de cultivo e pastagens, ecossistemas abertos têm sofrido com o manejo de fogo inadequado, mesmo em áreas de proteção (Hoekstra et al., 2005; Sano et al., 2010; Durigan & Ratter, 2016, Fidelis et al., 2018). A falta de entendimento de como o fogo atua na estruturação, manutenção e funcionalidade das comunidades, tem levado a decisões de manejo equivocadas e prejudiciais à conservação de campos e savanas tropicais.

Assim, é crucial intensificar os esforços para preencher as lacunas no entendimento de como o fogo afeta as comunidades vegetais dos ecossistemas abertos tropicais. Isso inclui investigar a influência do fogo na montagem das comunidades, nas adaptações e respostas das espécies e nas condições ambientais. Embora tenham sido estabelecidas conexões valiosas com a ocorrência do fogo em si, havia pouca compreensão dos efeitos de diferentes regimes de fogo no estrato herbáceo-arbustivo das savanas do Cerrado, especialmente em uma perspectiva de longo prazo. Neste sentido, são compartilhadas a seguir as principais conclusões de cada tópico avaliado neste estudo esperando-se contribuir para futuras pesquisas e políticas baseadas em dados para conservação das savanas tropicais.

Os principais resultados deste estudo quanto aos efeitos de diferentes regimes de fogo no microclima das comunidades vegetais de campo sujo, apresentados no primeiro capítulo desta tese, indicaram que a frequência de fogo influencia os

parâmetros microclimáticos ao longo do tempo através das diferenças na cobertura vegetal entre as parcelas queimadas e não queimadas. Maiores temperaturas e iluminância e menor umidade relativa foram registradas nas parcelas queimadas. Os efeitos da frequência do fogo no microclima das savanas abertas persistem por pelo menos 12 meses após a queimada, sendo potencializados pela estação seca. Portanto, a sazonalidade também desempenha um papel importante nas mudanças do microclima local e deve ser considerada mais minuciosamente. A descrição do microclima após queimadas anuais e bienais, neste estudo, pode apoiar a compreensão dos processos pós-fogo, como floração, germinação, recrutamento e estabelecimento de mudas, montagem da comunidade e produtividade das plantas, entre outros. Além disso, a descrição do microclima em áreas excluídas do fogo ao longo de um ano é importante para compreender a dinâmica da comunidade vegetal de acordo com a sazonalidade.

As análises realizadas no segundo e terceiro capítulos acerca dos efeitos a longo prazo dos diferentes regimes de fogo na estrutura, produtividade, dinâmica da biomassa aérea, diversidade e composição de espécies, bem como na diversidade funcional das comunidades de campo sujo, revelaram que as comunidades vegetais respondem diferentemente à frequência e época do fogo. As diferenças entre as comunidades sob queimadas anuais, bienais no início, meio e final da estação seca e exclusão do fogo surgiram desde os primeiros anos de experimentos e foram consolidadas ao longo do tempo. Entre todos os tratamentos, a exclusão do fogo teve o impacto mais negativo nas comunidades vegetais. A exclusão do fogo afetou a riqueza e cobertura de herbáceas e graminóides, a riqueza total de espécies, diversidade taxonômica e funcional e a produtividade do estrato herbáceo de savanas abertas. Isto indica que o fogo é essencial não apenas para controlar o acúmulo de material de combustível, mas também para preservar a biodiversidade e funcionalidade das savanas tropicais. Do mesmo modo, queimadas no início da estação seca podem ser prejudiciais para as comunidades vegetais. O fogo nesta época, apesar de não afetar a produtividade e a dinâmica da biomassa aérea da vegetação, pode reduzir a riqueza de graminóides, a riqueza total de espécies e a diversidade taxonômica do estrato herbáceo em savanas abertas. Contudo, as queimadas precoces são as mais utilizadas em programas de manejo de fogo em áreas protegidas para controlar a carga de combustível. A escolha por esta época

para realizar as queimadas prescritas justifica-se devido à teor de umidade da vegetação ser mais elevado no início da seca comparado ao meio e final e às condições ambientais serem mais amenas nesse período (Rissi et al., 2017; Dos Santos et al., 2021), resultando em fogo menos intenso e mais fácil de controlar. Por outro lado, as queimadas durante o meio e o final da estação seca promovem maior diversidade de espécies, mas são difíceis de controlar. Alta diversidade de espécies e funcional também foi observada em comunidades sob fogo anual, que se mostraram resilientes às queimadas recorrentes, mantendo a cobertura das formas de crescimento e a produtividade semelhantes aos outros tratamentos. De fato, ambas frequências de fogo recorrentes (anual e bienal) mantêm uma quantidade estável de biomassa viva e alta produtividade.

Em resumo, diante dos resultados obtidos, concluiu-se que manter o fogo nas savanas abertas é essencial para sua conservação. E a adoção de práticas de manejo utilizando diferentes frequências e épocas de fogo, como queimadas em mosaico, além de evitar incêndios descontrolados, permite se beneficiar dos aspectos positivos de cada regime de fogo, mitigar os negativos e promover uma maior pirodiversidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dos Santos, A. C., da Rocha Montenegro, S., Ferreira, M. C., Barradas, A. C. S., & Schmidt, I. B. (2021). Managing fires in a changing world: Fuel and weather determine fire behavior and safety in the neotropical savannas. *Journal of environmental management*, 289, 112508.

Durigan, G., & Ratter, J. A. (2016). The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, 53(1), 11-15.

Fidelis, A., Alvarado, S. T., Barradas, A. C. S., & Pivello, V. R. (2018). The year 2017: megafires and management in the Cerrado. *Fire*, 1(3), 49.

Hoekstra, J. M., Boucher, T. M., Ricketts, T. H., & Roberts, C. (2005). Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology letters*, 8(1), 23-29.

Olsson, E. G. A., & Ouattara, S. (2013). Opportunities and challenges to capturing the multiple potential benefits of REDD+ in a traditional transnational savanna-woodland region in West Africa. *Ambio*, 42, 309-319.

Parr, C. L., Gray, E. F., & Bond, W. J. (2012). Cascading biodiversity and functional consequences of a global change-induced biome switch. *Diversity and Distributions*, 18(5), 493-503.

Parr, C. L., Lehmann, C. E., Bond, W. J., Hoffmann, W. A., & Andersen, A. N. (2014). Tropical grassy biomes: misunderstood, neglected, and under threat. *Trends in ecology & evolution*, 29(4), 205-213.

Richards, A. E., Andersen, A. N., Schatz, J. O. N., Eager, R., Dawes, T. Z., Hadden, K., ... & Van Der Geest, M. (2012). Savanna burning, greenhouse gas emissions and indigenous livelihoods: Introducing the Tiwi Carbon Study. *Austral Ecology*, 37(6), 712-723.

Russell-Smith, J., Whitehead, P., & Cooke, P. (Eds.). (2009). *Culture, ecology and economy of fire management in North Australian savannas: rekindling the Wurrk tradition*. Csiro Publishing.

Sano, E. E., Rosa, R., Brito, J. L., & Ferreira, L. G. (2010). Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, 166, 113-124.

Zhao, Y., Liu, Z., & Wu, J. (2020). Grassland ecosystem services: A systematic review of research advances and future directions. *Landscape Ecology*, 1-22.