



**IMPLICAÇÕES DO FOGO SOBRE A BIOMASSA E SOLO DO CERRADO STRICTO SENSU**

**SARAH CRISTINE MARTINS NERI**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**IMPLICAÇÕES DO FOGO SOBRE A BIOMASSA E SOLO DO CERRADO STRICTO SENSU**

**ORIENTADOR: Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA**  
**COORIENTADORA: Dra. BÁRBARA DE OLIVEIRA BOMFIM**  
**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**BRASÍLIA – DF**  
**OUTUBRO DE**  
**2023**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**IMPLICAÇÕES DO FOGO SOBRE A BIOMASSA E SOLO DO CERRADO STRICTO SENSU**

SARAH CRISTINE MARTINS NERI

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADO POR:

Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia Florestal - UnB) (ORIENTADOR)

---

Prof. Dra. BÁRBARA BOMFIM (Lawrence Berkeley National Laboratory - Berkeley - CA) (COORIENTADORA)

---

Prof. Dr. NILTON CÉSAR FIEDLER (Departamento de Engenharia Florestal - UFES); (Examinador Externo)

---

Prof. Dr. ALEXANDRE FRANÇA TETTO (Examinador Externo) (Departamento de Ciências Florestais - UFPR)

---

Prof. Dr. ERALDO APARECIDO TRONDOLI MATRICARDI/ (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB)

---

Ficha catalográfica elaborada automaticamente, com os dados fornecidos

Neri, Sarah Cristine Martins

Implicações do fogo sobre a biomassa e solo do Cerrado

Stricto sensu / Sarah Cristine Martins Neri; Orientador Reginaldo Sérgio Pereira;  
co-orientadora Bárbara Bomfim Fernandes - Brasília, 2023.81 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) -Universidade  
de Brasília, 2023.

1. Fogo. 2. Biomassa. 3. 4. Bioma Cerrado 5. Combustível florestal  
I. Pereira, Reginaldo Sérgio, orient. II. Bomfim Fernandes, Barbara, co-orient. III.  
Título.

## REFERÊNCIA

NERI, S. C. M. (2023). Implicações do fogo sobre a biomassa e solo do Cerrado Stricto sensu  
Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação \_\_\_\_\_ Departamento  
de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 81 f.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Sarah Cristine Martins Neri

TÍTULO: Atributos do combustível florestal e implicações dos incêndios em cerrado, com  
e sem distúrbio por fogo.

GRAU: Doutor ANO: 2023

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Sarah Cristine Martins Neri  
[sarah.crist@hotmail.com](mailto:sarah.crist@hotmail.com)  
[sarahdocunb@gmail.com](mailto:sarahdocunb@gmail.com)

*“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte,  
não temerei mal algum, porque tu estás comigo;  
a tua vara e o teu cajado me consolam.”*

*Salmo*

*23:4*

*Gratidão!!*

## AGRADECIMENTOS

Como em tudo em minha vida, o agradecimento primordial é para **Deus**, que permitiu e permite que ainda continue essa jornada intensa, que é minha vida.

Ao professor e orientador Dr. Reginaldo Sérgio Pereira com sua paciência e serenidade aceitou mais esse desafio, gratidão pela disponibilização da moradia na FAL, liberação de funcionários, carros, tempo, enfim, todo auxílio prático para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Alexandre França Tetto, um ser humano ímpar, sem sua pronta disponibilidade e colaboração, o desenrolar desse trabalho teria sido bem mais árduo e complicado.

Ao professor Dr. Eraldo Trondoli Matricardi, exemplo de empatia, dedicação, apoio e acessibilidade imparciais, como sempre digo, com todo respeito, um fofo.

A professora Rosana de Carvalho Cristo Martins, que me acolheu desde o início e se tornou uma amiga querida, muito obrigada por todas conversas e conselhos.

A professora e coorientadora Bárbara Bofim por ter embarcado nessa intensa jornada, ainda que já na metade dos trabalhos, sua objetividade e assertividade contribuíram imensamente com minha evolução.

Ao Alex Bianchini, companheiro de quase uma década e meia, que suportou mais esse período de oscilações de humor, raiva, choros, desespero, felicidade, desânimos, alegrias.

A minha mãe, tia e primas que me apoiaram em mais esse período turbulento da minha vida.

Aos meus bichinhos com seu amor incondicional, aliviaram dias e noites em que pensei que não conseguiria (Obs: Animais são anjos que Deus envia, tenha sempre certeza desse fato).

A todos os amigos, colegas e companheiros que fiz nesta pós-graduação: minha amiga Kênia Brito Ribeiro (Keninha), primeira amizade e parceira dos desabafos, com sua serenidade, paciência e fé inabalável auxiliando nos momentos mais tensos, Natália mais uma amiga para desabafar e desesperar, Hallefy, Thalles (nossas caronas rumo a Goiás, pelas tantas risadas), Paola por sua paciência, Weidson, Lucydalva, Mário, Peter, Alexsandro, Francesca, Roberta pelas conversas de desabafos.

A querida Pâmela, que tanto me auxiliou nas atividades em campo, com sua paciência, doçura e empatia no desenvolvimento de tanto trabalho, se tornando uma amiga tão querida.

A Larisse por sua ajuda e pronta resposta em todos momentos de aperto.

A todos os profissionais que colaboraram para a concretização de mais essa etapa, em

especial aos profissionais da Fazenda Água Limpa, Sr. Sebastião, por ajudar em todos os trabalhos de campo com esforço, dedicação, empatia, e por também me endoidar mais, Sr. Geraldo, sua paciência e empenho, Sr. Augusto pela construção dos coletores, Sr. Agostinho também pelas idas em campo e tantos outros trabalhos e risadas, Rodrigo pela ajuda nas coletas, Alexandre Palermo, professora Ana Maria, Lícia, por permitir o uso dos equipamentos do laboratório do CVT, Sr Vantuil pelas explicações de manejo no Laboratório de Madeira, Professor Ailton pela enorme contribuição e paciência ao ensinar e ao realizar análises em seu laboratório na Engenharia Florestal, e não menos ao Joel, Sr. Rodrigo, Sr. Neguinho, Sr. Evangelista, Sr. Luciano, aos seguranças, José Carlos e Leandro, por fazer além, cuidando do Carrapichinho, Eduardo, por todas conversas, ao pessoal do RU da FAL, Alexandra, enfim, todos sem exceção que foram os pilares para elaboração desta Tese, perdão se esqueci de citar alguns, foram tantos, mas saibam que sou eternamente grata.

A Vera, Amandinha, Flávia, Yuri e todos profissionais da pós-graduação, por tantas conversas, aliviando e orientando esse árduo caminho.

A Universidade de Brasília, sua linda, muito obrigada, que orgulho fazer parte da sua história em minha pós-graduação.

Ao programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, à CAPES, pela concessão da bolsa para desenvolvimento da minha tese, sem esta, a maioria dos discentes não poderiam continuar esta jornada.

Ao Instituto Federal Goiano pelas liberações do trabalho, contribuindo para o encerramento desta.

E não menos importante, devo parabenizar a mim mesma, e inúmeras vezes, por não ter desistido dessa loucura e chegado até o fim. Só eu e Deus para sabermos tudo que passamos nesse ciclo.

Obrigada Deus do universo, por tudo e por todos que se apresentam em meu caminho, sei que não sou totalmente luz para alguns, porém, entendo que somos imperfeitos e precisamos aprender com tudo e todos.

Gratidão por tudo, não conseguirei expressar em palavras esse enorme sentimento.

## LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO I

- Figura 1.** Localização da área de estudo: Fazenda Água Limpa (FAL), Distrito Federal, Brasil. Os tratamentos estudados (parcelas) estão delimitados nas imagens do google earth (2021), da seguinte forma: Área 1 (em rosa) = incêndio anual; Área 2 (em amarelo) = incêndio há 15 anos; Área 3 (em azul) = controle (área livre de incêndio nos últimos 30 anos).....24
- Figura 2.** Ordenação de vetores de espécies significativas por parcela (cinco parcelas por tratamento). Distribuição de espécies por tratamento com base na análise de escala multidimensional não métrica (NMDS) para os três tratamentos, incluindo espécies com vetores significativos ao nível de significância de 99% (Tabela A1 do Apêndice). Os círculos representam o tratamento anual do fogo, os triângulos representam o controle (30 anos sem fogo) e os quadrados representam o tratamento fogo há 15 anos (ou seja, onde o fogo ocorreu 15 anos antes da pesquisa).....27
- Figura 3.** Estrutura (indivíduos lenhosos por parcela), riqueza, diversidade (Shannon-Wiener) e uniformidade da comunidade arbustivo-arbórea no cerrado stricto sensu da Fazenda Água Limpa, DF. (a) Diversidade de Shannon, (b) riqueza de espécies, (c) equitabilidade de Pielou e (d) número de indivíduos lenhosos por parcela nos três tratamentos no Cerrado brasileiro. Os boxplots mostram as bandas medianas que representam os valores medianos das variáveis, a superior e a inferior indicam o primeiro e terceiro quartis. As barras indicam os valores mínimo e máximo. Os pontos indicam valores discrepantes..... 28
- Figura 4.** Diferenças estruturais na vegetação entre tratamentos sob efeito do fogo, incluindo (a) o número total de indivíduos mortos por tratamento, (b) o número total de indivíduos por tratamento em cada classe de diâmetro e (c) o número total de indivíduos por tratamento em cada classe de diâmetro e (c) o número total de indivíduos por tratamento em cada classe de altura.....29
- Figura 5.** Estoques de carbono acima do solo estimados em indivíduos vivos (em Mg C/ha) por tratamento.....30

## LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO II

- Figura 1.** Área com histórico de queima anual (A1); área com registro de fogo 15 anos (A2); sem registro de ocorrência de fogo há 30 anos (A3- controle)..... 55
- Figura 2.** Amostragem (a), coleta na superfície do solo (b) e coletores aéreos (c) para determinação da carga de material combustível superficial..... 56
- Figura 3.** Perfis do solo..... 57
- Figura 4.** Coleta serapilheira com gabarito (a); coleta de serapilheira com coletores (b); separação e



classificação serapilheira (c).....	59
<b>Figura 5.</b> Concentração total de carbono orgânico (em %) e nitrogênio total do solo (em %) nas amostras coletadas nos tratamentos controle, fogo 15 anos e fogo anual.....	60
<b>Figura 6.</b> Nitrogênio total do solo (em %) e carbono orgânico total do solo (em %), por profundidade amostrada (0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm e 75-100 cm), das amostras coletadas nos tratamentos controle, legado 15 anos e fogo anual.....	61
<b>Figura 7.</b> Dois principais componentes da Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando a separação entre os tratamentos de acordo com as variáveis químicas do solo (carbono orgânico total, nitrogênio total, CTC, pH, P disponível, potássio e alumínio), dados das parcelas florestais de Cerrado sentido restrito da Fazenda Água Limpa - Brasília - DF. Cada ponto representa as parcelas dos tratamentos, onde foram coletadas amostras simples em três pontos diagonais por parcela em quatro profundidades e posteriormente analisadas quimicamente.....	62
<b>Figura 8.</b> Fósforo disponível no solo.....	63

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>GENERAL ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>14</b>
1.1. GENERALIDADES E JUSTIFICATIVA.....	14
1.2. REFERÊNCIAS.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	20
1.4. QUESTÕES DE PESQUISA.....	20
1.5. ESTRUTURA DA TESE.....	20
<b>2. CAPÍTULO 1.....</b>	<b>21</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Área de estudo.....	23
2.2.2. Desenho amostral.....	24
2.2.3. Experimento de fogo.....	25
2.2.4. Coleta de dados da vegetação em campo.....	25
2.2.5. Estimativa do estoque de carbono acima do solo.....	26
2.2.6. Análise estatística.....	26
<b>2.3. RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
2.3.1. Composição de espécies entre tratamentos.....	26
2.3.2. Métricas de diversidade entre tratamentos.....	27
2.3.3. Diferenças estruturais entre tratamentos.....	28
2.3.4. Estoques de carbono acima do solo entre tratamentos.....	29
<b>2.4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>37</b>
<b>2.6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>
<b>3. CAPÍTULO 2.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>53</b>

<b>3.2. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
3.3.1. Delineamento amostral.....	55
3.3.2. Coletas de serapilheira.....	55
3.3.3. Coletas e caracterização de atributos do solo.....	56
3.3.4. Carga e teor de umidade do combustível superficial.....	58
3.3.5. Separação do combustível superficial por constituinte e classe diamétrica.....	58
<b>3.4. RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
3.4.1. Efeitos do fogo na composição química do solo.....	60
<b>3.5. DISCUSSÃO.....</b>	<b>63</b>
3.5.1. Resultante do fogo no estoque de nitrogênio e carbono orgânico do solo.....	64
3.5.2. Efeitos do fogo nos atributos químicos do solo.....	65
<b>3.6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>3.7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>
<b>4. PRINCIPAIS CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>76</b>
4.1 - Revisitando as questões de pesquisa e hipóteses.....	77
4.2 - Principais conclusões do estudo.....	77
4.3 - Aplicações no contexto das mudanças climáticas e dos incêndios florestais .....	77
4.4 - Observações finais .....	77
4.5 - Oportunidades para estudos futuros .....	78
<b>5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>79</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## RESUMO GERAL

A importância dos atributos florestais para o Cerrado brasileiro se dá pela enorme biodiversidade, funcionalidades e benefícios existentes, as modificações nesse Bioma, enfatizam a necessidade de estudos para conhecer melhor as características da vegetação e dos solos onde estão inseridas, estabelecendo formas de uso e manejo que reduzam e controlem a degradação, visando manter a sustentabilidade ecológica. Existem estudos sobre os efeitos do fogo no Cerrado, entretanto, a especificidade de cada local requer atenção e uma abordagem específica para cada componente desse ambiente. A compreensão e o entendimento das variáveis influenciadoras desse ecossistema, é primordial para conservação, preservação e sustentabilidade. Sendo assim, essa tese tem como objetivo, contribuir com estudos referentes à influência do fogo nos principais atributos vegetais e no solo em áreas de Cerrado *sensu stricto*, visando compreender a relação das espécies com o fogo, as interferências ocorridos nos solos, predizendo os influxos futuros dessa associação. Os estudos foram desenvolvidos na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília, no Distrito Federal. Foram alocadas aleatoriamente 15 parcelas em três áreas de estudo, tendo como primeira, A1, com ocorrência de fogo anual (aceiro negro), A2, com registro de fogo há 15 anos e A3 controle, área sem ocorrência de fogo há aproximadamente 30 anos, sendo a A1, área que margeia a rodovia DF 251 e anualmente realizado queima prescrita. Foi realizado um inventário florestal entre julho e dezembro de 2021. As etapas de metodologia em A1, A2 e A3, foram realizadas em um período de dois anos e meio, com a combinação das coletas e análises dos materiais constituintes do combustível florestal, enfatizando as avaliações nas interferências e nos efeitos do fogo na vegetação e nos solos. Os dados coletados foram submetidos a análises multivariadas. Os resultados obtidos para os efeitos do fogo, para A1, permitiram distinguir plantas que não toleram queimadas recorrentes, como a correlação positiva nos parâmetros, nos índices de Shannon, na riqueza de espécies e equitabilidade para os tratamentos da A3 (Controle), A2 (Fogo há 15 anos). De forma geral, a ocorrência do fogo em um Cerrado, transforma os padrões estruturais, sugerindo interferências nas taxas de diversidade, composição, riqueza e distribuição das espécies, resultando em alterações consideráveis para os parâmetros avaliados no tempo delineado para essa pesquisa. Ao abordar os efeitos do fogo em uma área de Cerrado nativo, essa pesquisa ressalta a importância da avaliação na vegetação e nos solos dessas áreas. O trabalho enalteceu a necessidade de estudos sobre os efeitos do fogo no Bioma Cerrado, em conjunto com a avaliação de todos componentes que envolvem esse agente, no intuito de estabelecer padrões de comportamento, como estabelecer metodologias preventivas.

**Palavras-chave:** solos, serapilheira, fogo

## GENERAL ABSTRACT

The importance of forest attributes for the Brazilian Cerrado is due to the huge biodiversity, functionalities and existing benefits, the changes in this Biome emphasize the need for studies to better understand the characteristics of the vegetation and soils where they are located, establishing forms of use and management that reduce and control degradation, aiming to maintain ecological sustainability. There are studies on the effects of fire in the cerrado, however, the specificity of each location requires attention and a specific approach for each component of this environment. Understanding the influencing variables of this ecosystem is essential for conservation, preservation and sustainability. Therefore, this thesis aims to contribute to studies regarding the influence of fire on the main plant attributes and soil in areas of cerrado sensu stricto, aiming to understand the relationship between species and fire, the interferences occurring in the soil, predicting the influxes future of this association. The studies were carried out at the Água Limpa Farm at the University of Brasília, in the Federal District. Fifteen plots were randomly allocated into three study areas, with the first being A1, with the occurrence of annual fires (black firebreak), A2, with fire records for 15 years and A3, control, an area with no fire occurrences for approximately 30 years being A1, an area that borders the DF 251 highway and prescribed burning is carried out annually. A forest inventory was carried out in July and December 2021. The methodology stages in A1, A2 and A3 were carried out over a period of two and a half years, with the combination of collections and analyzes of the materials that make up forest fuel, emphasizing the assessments of interference and effects of fire on vegetation and soil. The collected data were subjected to multivariate analysis. The results obtained for the effects of fire, for A1, made it possible to distinguish plants that do not tolerate recurrent fires, such as the positive correlation in the parameters, in the Shannon indices, in the richness of species and equitability for the treatments of A3 (Control), A2 (Fire for 15 years). In general, the occurrence of fire in a savanna transforms structural patterns, suggesting interference in the rates of diversity, composition, richness and distribution of species, resulting in considerable changes to the parameters evaluated in the time outlined for this research. When addressing the effects of fire in a native savanna area, this research highlights the importance of evaluating the vegetation and soils of these areas.

**Key-words:** soil, litter, fire



# 1. INTRODUÇÃO GERAL

## 1.1. GENERALIDADES E JUSTIFICATIVA

O Cerrado possui exuberante riqueza de espécies, particularmente única, com representantes mensurados, identificados e caracterizados somente nesse Bioma (Bond; Midgley, 2012; Felfilli, 2000), além de ser notável absorvedor e armazenador de carbono (Bustamante et al., 2012). No entanto, diferentes atividades antrópicas têm modificado esse ambiente (Sano et al., 2019), o que reflete na dinâmica dos ciclos biogeoquímicos, como do carbono (Castro; Kauffman, 1998). Pesquisas sobre as alterações impostas pelo desmatamento, que conseqüentemente provoca aumento dos níveis de emissão de gases do efeito estufa, permite aprofundar sobre os principais mecanismos de preservação, conservação e manutenção nesse ambiente (Machado et al., 2004; Fearnside, 2008).

Um fator que contribui para as alterações no cerrado, e a redução de material combustível, é o uso do fogo. Entretanto, nesses locais, as informações históricas de uso do fogo são de milhares de anos (Durigan, 2020), sendo o fogo, um agente ecológico natural, que indiretamente participa da estruturação da vegetação, atuando na seleção das espécies, modificando a umidade do solo, as temperaturas, afetando o clima (Bowman et al., 2013), influenciando a ciclagem de nutrientes (Bond et al., 2005), moldando a vegetação, adaptando-a e diferenciando as espécies conforme o nível de incidência, tornando algumas espécies dependentes do fogo para finalização de seu ciclo evolutivo, e outras intolerantes, por tal motivo, a importância de estudos de acompanhamento e avaliação dos efeitos do fogo nas comunidades arbóreas (Miranda, 2010). Entretanto, os incêndios estão ameaçando a flora desse rico ecossistema (Myers et al., 2000; Durigan e Ratter., 2015).

É necessário entender que o uso constante e contumaz do fogo, está dizimando comunidades, exterminando a biomassa aérea, reduzindo a cobertura arbórea, aumentando as espécies de gramíneas (Hoffmann et al., 2009; Hoffmann et al., 2012), mesmo sendo locais onde ocorria fogo, a frequência alta e constante nas últimas décadas desse fenômeno tem causado modificações no uso e conversão da terra (Pivello, 2011), em função das frequência e intensidade do fogo terem efeitos complexos, causando perdas de dezenas de espécies anualmente. Dessa maneira, estudos sobre as conseqüências do fogo em comunidades naturais, respondem a inúmeros questionamentos, como importância da casca, da altura, para proteção das plantas (Garda, 2018).

Em estudos dos processos de avaliação do fogo, e na elaboração de protocolos de restauração florestal, pesquisas sobre a biomassa, o material combustível, são fundamentais por se tratar dos principais constituintes da floresta (Grace et al., 2006). Respondendo indagações, promovendo soluções para restauração desse Bioma, minimizando taxas de conversão e modificação (Grace et al., 2006; Swann, 2018; Strassburg et al., 2020; Terra et al., 2021). Considerando os benefícios ambientais advindos da vegetação nas florestas, além do sequestro e reservatório de carbono: aproximadamente 80% acima do solo e 20% abaixo (Li et al., 2008), e dos inúmeros serviços ambientais fornecidos

(Godecke et al., 2014).

Sob esse viés, estabelecer informações robustas e críveis sobre as intercorrências que o fogo causa, através de avaliações de estimativas da biomassa, no intuito de quantificar os estoques de nutrientes, os valores de carbono armazenados (Mishra et al., 2012), contribuirá para elucidação de dúvidas resultantes sobre benefícios e problemas procedentes desse agente. Os atributos de todo componente florestal, camada superficial do solo, os galhos, frutos, inflorescências, detritos, são requisitos ecológicos no gerenciamento do fogo (Costa et al., 2010). São esses constituintes que são modificados pelas atividades de uso dos solos, e influenciados pelas variáveis ambientais (Correia; Andrade, 2008).

Nos solos, o material vegetal depositado é responsável por atuar como isolante térmico auxiliando e participando da dinâmica dos fluxos de biomassa, disponibilizando nutrientes ao solo e as plantas (Olson, 1963; Ewel, 1976; Ferreira, 2019; Garlet et al, 2019), servem como mecanismos de avaliação nutricional, proteção aos solos, alimento para fauna local (Giweta, 2020).

No Brasil, há no Código Florestal, artigo 38, há descrições sobre a ilegalidade da prática do fogo em vegetações nativas, entretanto, muito ainda deve ser discutido, avaliado, em razão das diferentes funcionalidades que o fogo também promove, especialmente para as espécies que necessitam dele para seu desenvolvimento. E nesse sentido, existe em tramitação para regulamentação a Política Nacional do Fogo com o Plano Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF), buscando esclarecer possíveis dúvidas das atividades, dos locais, considerando o fogo em seu aspecto geral e ao seu uso, bem como sanando dúvidas (Gomes et al, 2018). O objetivo da regulamentação da prática de uso do fogo, tende a reduzir a quantidade de material combustível existente, minimizando os grandes incêndios e a inflamabilidade no cerrado brasileiro (Miranda, 2010; Hoffmann et al., 2012; Gomes et al., 2018), já que a frequência da ocorrência do fogo na vegetação interfere negativamente nas taxas de recuperação da biodiversidade, na dinâmica pós fogo (Reis et al., 2023).

Assim, pesquisas como essa, servem para corroborar informações que nortearão avaliações sobre o uso do fogo na vegetação do cerrado, haja vista, existirem alta densidade de plantas, muitos arbustos, material combustível altamente inflamável (Gomes et al., 2018), refletindo assim na produtividade da biomassa, nos processos ecológicos e no funcionamento dos ecossistemas (Terra et al., 2021).

Portanto, as recentes pesquisas e a crescente sensibilização, sobre as contribuições dos atributos florestais nos perigos de incêndio no Bioma Cerrado, e estabelecimento de estratégias de estudo dos regimes do fogo, objetivando minimizar as mudanças climáticas e as relações vegetação-solo-fogo para o estabelecimento e impulsionamento de novas pesquisas são imperiosas para análises nesse âmbito.

Aqui a análise dos efeitos do fogo na vegetação e os parâmetros estruturais, no solo, na biomassa, em área de cerrado sentido restrito, procurando responder quais as interferências



provocadas, em todo componente da vegetação, quantificando os nutrientes e os resultados para o solo.

## 1.2. REFERÊNCIAS

BOND, W.J., MIDGLEY, G.F. 2012. Carbon dioxide and the uneasy interactions of trees and savannah grasses. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, 467, 601– 612. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0182>.

BOND, W. J., WOODWARD, F. I. & MIDGLEY, G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New Phytol.** 165, 525–538. 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>.

BOWMAN, D.M.J.S.; MURPHY, B.P.; BOER, M.M.; BRADSTOCK, R.A.; CARY, G.J.; COCHRANE, M.A.; FENSHAM, R.J.; KRAWCHUK, M.A.; PRICE, O.F.; WILLIAMS, R.J. Forest fire management, climate change, and the risk of catastrophic carbon losses. **Front. Ecol. Environ.** 11, 66–68. 2013. <https://doi.org/10.1890/13.WB.005>.

BUSTAMANTE, M.M.C., NOBRE, C.A., SMERALDI, R., AGUIAR, A.P.D., BARIONI, L.G., FERREIRA, L.G., LONGO, K., MAY, P., PINTO, A.S., OMETTO, J.P.H.B., 2012. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Clim. Change**, 115, 559–577. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0443-3>.

CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 263-283, 1998. <https://doi.org/10.1017/S0266467498000212> .

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação da serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2nd ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.137-158

COSTA, E. G. DA. **Incêndios Florestais em Unidades de Conservação do Bioma Cerrado: Estudo de Caso no Parque Nacional da Serra da Canastra**. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário de Formiga - UNIFOR - MG, 77 f. Formiga, MG. 2010. <https://scholar.google.com.br/scholar> .

DURIGAN, G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. **Flora**. 268. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151612> .

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v.53, p. 11–15, 2015. <https://scholar.google.com.br/scholar>.

- EWEL, J.J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. **Journal of Ecology** 64(1): 293-308. 1976.  
<https://scholar.google.com.br/scholar>.
- FEARNSIDE, P. M. Mudanças Climáticas globais e a floresta amazônica. In: Buckeridge, M.S. (Ed.). **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. RiMa Editora, São Paulo, Brasil, p. 131-150. 2008. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
- FELFILI, J. M., et al., Changes in the floristic composition of cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. **J. Trop. Ecol.** V. 16, p. 579–590, 2000.  
<https://doi.org/10.1017/S0266467400001589>
- FERREIRA, A.; MIORANZA, M.; REZENDE, F. A. Indicadores microbiológicos de solo e as correlações com a aplicação de biocarvão em cultivos de Teca. In: Ferreira. **Brasília: Embrapa Agrossilvipastoril**, p. 104-108. 2019. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- GARDA, A. B. **Dano e recuperação pós-fogo em espécies lenhosas do cerrado: fogo após 18 anos de proteção versus queimadas bienais em três épocas distintas**. Universidade de Brasília. 2018. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
- GRACE, J. JOSÉ, S. J.; MEIR P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, 2006. v. 33, p. 387–400.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01448.x> .
- GARLET, C.; SCHUMACHER, M.V.; DICK, G.; VIERA, M. Ciclagem de nutrientes em povoamento de Eucalyptus dunnii Maiden: produção de serapilheira e devolução de macronutrientes no bioma Pampa. **Ecologia e Nutrição Florestal/Ecology and Forest Nutrition**, 7(5): 1-10. 2019. <http://dx.doi.org/10.5902/2316980X37057> .
- GIWETA, M. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. **J. Ecol. Environ.**, 44, pp. 1-9, 2020.  
[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup](https://scholar.google.com/scholar_lookup).
- GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; MARIA, M. Forest Ecology and Management How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? **Forest Ecology and Management**. v. 417, n. February, p. 281–290. 2018.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717321850> .
- GODECKE, M. V.; HUPFFER, H. M.; CHAVES, I. R. O futuro dos Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil a partir do novo Código Florestal **Revista Desenvol. Meio Ambiente**, v. 31, p. 31-42, ago. 2014. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
- HOFFMANN, W.A.; ADASME, R.; HARIDASAN, M.; CARVALHO, M.T.; GEIGER, E.L.; PEREIRA, M.A.B.; GOTSCH, S.G. & FRANCO, A.C. **Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil**. **Ecology**, 90(5): 1326-1337. 2009. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
- HOFFMANN, W.A.; GEIGER, E.L.; GOTSCH, S.G.; ROSSATTO, D.R.; SILVA, L.C.R.; LAU, O.L.; HARIDASAN, M. & FRANCO, A.C. Ecological thresholds at the

savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology Letters** 15: 759-768. 2012. <https://scholar.google.com.br/scholar>

LI, W.; FU, R.; JUÁREZ, R. I. N.; FERNANDES, K. Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. **Philosophical Transactions of Royal Society**. B363:1767-1772. 2008. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0022>

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K. Steininger, M. **Estimativas de Perda da Área do Cerrado Brasileiro**. Brasília, DF: Conservação Internacional, 2004. <https://scholar.google.com.br/scholar>.

MIRANDA, H.S. **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades do Cerrado: Projeto Fogo**. IBAMA. Brasília, 144 p. 2010. <https://scholar.google.com.br/scholar> .

MISHRA, U.; TORN, M. S.; MASANET, E.; OGLE, S. M. Improving regional soil carbon inventories: Combining the IPCC carbon inventory method with regression kriging. **Geoderma**, 189, 288-295. 2012. <https://scholar.google.com.br/scholar>

MYERS, N.; MITTERMELER, R.A.; MITTERMELER, C.G.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403, 853–858. 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501> .

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Washington, v.44, p.322-330, 1963. <https://scholar.google.com.br/scholar>

Pivello, V. R., . The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. **Fire Ecology**. 2011, 7, p. 24-39. Disponível em: <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024> .

REIS, L. B. De.; MIRANDA, S. Do. C.; MACHIDA, W. S.; GONÇALVES, L. De A.; CARVALHO, P. S. De. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.02. 2023. 968-985.2023. <https://scholar.google.com.br/scholar> .

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; JR, A. F. C.; VASCONCELOS, V.; SCHÜLER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828. 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30529869/> .

STRASSBURG, B.B.N.; IRIBARREM, A.; BEYER, H.L.; CORDEIRO, C.L.; CROUZEILLES, R.; JAKOVAC, C. C.; BRAGA JUNQUEIRA, A.; LACERDA, E.; LATAWIEC, A.E.; BALMFORD, A.; BROOKS, T.M.; BUTCHART, S.H.M.; CHAZDON, R.L.; ERB, K.H.; BRANCALION, P.; BUCHANAN, G.; COOPER, D.; DÍAZ, S.; DONALD, P.F.; KAPOS, V.; LECLERE, D.; MILES, L.; OBERSTEINER, M.; PLUTZAR, C.; CARLOS, C.A.; SCARANO, F.R.; VISCONTI, P. Global priority areas for ecosystem restoration. **Nature**. 586, 724–729. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9> .

SWANN, A.L.S. Plants and drought in a changing climate. **Curr. Clim. Chang.Reports.** 4, 192–201. 2018. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0097-y>.

TERRA, M. DE C.N.S.; PRADO-JÚNIOR, J.A.DO.; SOUZA, C.R.DE.; PINTO, L.O.R.; SILVEIRA, E.M.DE O.; CORDEIRO, N.G.; CIRNE-SILVA, T.M.; MANTOVANI, V.A.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.DE. Tree species dominance in neotropical savanna aboveground biomass and produc-tivity. **For. Ecol. Manage.** 496, 119430. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119430>

### 1.3. OBJETIVOS

Geral: averiguar as mudanças nos atributos do combustível florestal, em campo e laboratório, em ambientes savânicos (cerrado sentido restrito), com e sem registro de ocorrência de fogo, visando compreender os impactos no perigo de incêndio florestal.

Específicos: (a) avaliar as propriedades edáficas, vegetacionais e carga de biomassa dos ambientes savânicos; (b) quantificar a contribuição de diferentes frações de biomassa na constituição da carga de combustível superficial; (c) avaliar a contribuição da deposição de serapilheira, em período sazonal seco e chuvoso, na carga de combustível florestal; e (d) avaliar, em laboratório, as implicações do fogo nos atributos químicos dos solos.

### 1.4. QUESTÕES DE PESQUISA

(a) Quais os efeitos da queima controlada anual nos parâmetros da estrutura horizontal e vertical do cerrado? (b) Áreas de cerrado após a passagem do fogo recuperam em que intensidade a sua estrutura horizontal e vertical? (c) Há influência nos atributos químicos do solo, em ambientes savânicos com e sem uso de fogo? (d) Quais os impactos do fogo na biomassa e os impactos no estoque de carbono?

### 1.5. ESTRUTURA DA TESE

A tese foi delineada em dois capítulos abordando as interferências do fogo nos componentes da vegetação de um cerrado *stricto sensu*, com avaliações em campo e laboratório para análise do material combustível, avaliar e compreender os diferentes resultados para esse ambiente.

**CAPÍTULO 1: Efeitos do fogo na estrutura, composição, diversidade e estoque de carbono acima do solo de uma savana neotropical;**

**CAPÍTULO 2: Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira de cerrado sentido restrito com diferentes regimes de queima com diferentes históricos de fogo.**

## 2. CAPÍTULO 1

### Efeitos do fogo na estrutura, composição, diversidade e estoque de carbono acima do solo de uma savana neotropical;

Sarah Cristine Martins Neri <sup>1</sup>, Barbara Bomfim <sup>2</sup>, Reginaldo Sérgio Pereira <sup>1\*</sup>, Pâmela Virgílio dos Santos <sup>1</sup>, Alexandre França Tetto <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil, [sarahdocunb@gmail.com](mailto:sarahdocunb@gmail.com); [pamelavirgilio063@gmail.com](mailto:pamelavirgilio063@gmail.com)

<sup>2</sup> Climate and Ecosystem Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, California, USA; [bbomfim@lbl.gov](mailto:bbomfim@lbl.gov)

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil; [tetto@ufpr.br](mailto:tetto@ufpr.br)

\* Correspondence: [sarahdocunb@gmail.com](mailto:sarahdocunb@gmail.com); [reginaldosp@unb.br](mailto:reginaldosp@unb.br)

#### Resumo

O fogo é um distúrbio comum na savana brasileira (cerrado), onde os incêndios de alta frequência determinam a estrutura, composição, função e dinâmica da vegetação dos ecossistemas da savana. Sob a pressão das alterações climáticas, uma maior compreensão das relações e interações fogo-vegetação pode fornecer novas abordagens para o estabelecimento de estratégias para a gestão integrada do fogo e promover a recuperação da vegetação de savana pós-fogo. Para entender como 15 anos de queimadas manipuladas anuais afetam a estrutura vertical e horizontal da vegetação, a composição de espécies e as métricas de diversidade (riqueza de espécies, diversidade de Shannon e uniformidade de Pielou) e os estoques de carbono acima do solo, pesquisamos todas as espécies de plantas lenhosas com diâmetro superior a três centímetros em 15 parcelas de uma típica savana brasileira (cerrado *stricto sensu*) em uma estação de pesquisa experimental no Brasil central (bioma Cerrado). Quinze parcelas (cinco por tratamento) foram diferentemente afetadas por eventos de fogo ao longo de uma década, compreendendo três tratamentos: (i) fogo anual, (ii) fogo legado (> 15 anos desde o último evento de fogo) e (iii) controle (não queimado nos últimos 30 anos). A análise de escala multidimensional não métrica (NMDS) indicou um efeito significativo do fogo na composição de espécies entre os tratamentos e que algumas espécies se beneficiaram do fogo, como *Erythroxylum suberosum*, enquanto outras se propagaram melhor sem fogo, como *Roupala montana* e *Dalbergia miscolobium*. Mais de uma década de eventos anuais de incêndio levaram a reduções na diversidade, na riqueza de espécies e na densidade do caule de Shannon, que foram significativamente mais baixas no tratamento anual do fogo do que nos tratamentos de controle e legado do fogo. A densidade do caule por classe de diâmetro e altura (exceto para a classe de 1-2 m e acima de 8 m) foi maior no controle do que no tratamento anual de fogo, mas o número de árvores mortas não diferiu entre os tratamentos controle e anual de fogo. . Nossos resultados também mostraram que o fogo foi um fator de alteração nos parâmetros avaliados, como o tratamento anual do fogo, que reduziu a quantidade de biomassa e, portanto, o estoque de carbono. Este estudo sugere que, se queimadas anualmente, as savanas brasileiras típicas podem tornar-se menos biodiversas em termos de espécies de plantas lenhosas e afetar negativamente a sua resiliência ao fogo. Portanto, as práticas de gestão do fogo devem centrar-se na determinação da frequência com que estes ecossistemas podem beneficiar mais das perturbações causadas pelo fogo.

**Palavras chave:** Ecologia do fogo, cerrado *stricto sensu*, ecossistema cerrado, vegetação lenhosa, ecologia vegetal.

## Abstract

Fire is a common disturbance in the Brazilian savanna (Cerrado), wherein high-frequency fires drive the vegetation structure, composition, function, and dynamics of savanna ecosystems. Under climate change pressure, further understanding of fire-vegetation relationships and interactions can provide new approaches for establishing strategies for integrated fire management and promote savanna vegetation recovery post-fire. To understand how 15 years of yearly manipulated burning affects the vertical and horizontal structure of the vegetation, the species composition and diversity metrics (species richness, Shannon's diversity, and Pielou's evenness), and the aboveground carbon stocks, we surveyed all woody plant species with a diameter greater than three centimeters in 15 plots of a typical Brazilian savanna (cerrado *stricto sensu*) at an experimental research station in central Brazil (Cerrado biome). Fifteen plots (five per treatment) were differently affected by fire events over a decade, comprising three treatments: (i) annual fire, (ii) legacy fire (> 15 years since the last fire event), and (iii) control (not burned in the past 30 years). Non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis indicated a significant effect of fire on the species composition among treatments and that some species benefited from fire, such as *Erythroxylum suberosum*, whereas others propagated better without fire, such as *Roupala montana* and *Dalbergia miscolobium*. Over a decade of annual fire events led to decreases in Shannon's diversity, species richness, and stem density, which were significantly lower in the annual fire treatment than in the control and legacy fire treatments. Stem density by diameter and height size class (except for the 1-2 m class and above 8 m) was higher in the control than in the annual fire treatment, but the number of dead trees did not differ between the control and annual fire treatments. Our results also showed that fire was a factor in changes in the evaluated parameters, such as annual fire treatment, which reduced the amount of biomass and, therefore, the carbon stock. This study suggests that, if burned yearly, typical Brazilian savannas can become less biodiverse in terms of woody plant species and negatively affect their fire resilience. Therefore, fire management practices should focus on determining the frequency with which these ecosystems may benefit the most from fire disturbances.

**Keywords:** Fire ecology, cerrado *stricto sensu*, savanna ecosystem, woody vegetation, plant ecology

---

## 2.1. INTRODUÇÃO

Compreender as alterações naturais e antrópicas que ocorrem na vegetação de savana e nos reservatórios de biomassa é essencial para a ciência da conservação, especialmente porque pode refletir na elaboração de protocolos de recuperação da vegetação e nas avaliações da influência antrópica do fogo no meio ambiente. Estudos sobre os efeitos dos distúrbios do fogo na vegetação de savana fornecem evidências e insights sobre a resiliência e a dinâmica desses ecossistemas, além de monitorar os fatores que governam as mudanças na estrutura, composição e produtividade da vegetação [1]. Os biomas tropicais de savana são particularmente relevantes, pois há predominância de árvores sem copa contínua, baixa densidade no estrato lenhoso e dominância de gramíneas [2]. Eles estão entre os biomas terrestres mais difundidos [3,4], caracterizados por uma flora biologicamente diversa [5] e potencialmente resistentes e resilientes a condições extremas de seca [6].

O Cerrado (bioma da savana brasileira), o segundo maior bioma do Brasil, cobre aproximadamente 2,5 milhões de quilômetros quadrados, ou aproximadamente 22% do território nacional [7,8], e é um dos hotspots de biodiversidade do mundo [9]. Este bioma está altamente ameaçado porque não é totalmente protegido legalmente e apresenta altas taxas de conversão antrópica para usos alternativos da terra [4,10]. É mundialmente reconhecido por sua exuberância e biodiversidade e fornece inúmeros serviços ecossistêmicos [11], que se destaca na elaboração de protocolos de restauração de ecossistemas e potencial de mitigação das mudanças climáticas [12]. Os ecossistemas de savana no Cerrado são particularmente influenciados pela disponibilidade de água e nutrientes, tendo o fogo como agente de manutenção do gradiente de biomassa neste domínio morfoclimático [13,14], alterando a composição e estrutura da vegetação. Esses ecossistemas de savana foram investigados mais recentemente para estimar a biomassa acima do solo devido à complexidade da expansão das atividades antrópicas que tendem a afetar suas diferentes formações [15,16] e prever informações sobre seus ciclos de nutrientes e carbono [15,16].

Além das características regionais intrínsecas, como solos ácidos, baixo teor de nutrientes e lençol freático superficial [17,18], o fogo é um agente que modifica a estrutura e a composição da vegetação nas savanas [19], contribuindo assim para o estabelecimento de diferentes habitats. Embora o fogo seja uma perturbação predominante nos ecossistemas de savana do Cerrado, é um desafio para os gestores e estudiosos dos ecossistemas utilizar o fogo preventivo como método para evitar eventos de fogo altamente impactantes, que, de acordo com a legislação vigente, não cobrem as especificidades de cada tipo de ecossistema em todo o mundo. o bioma, e não considera a importância ecológica da manutenção da biodiversidade. Portanto, informações sobre a necessidade e utilidade do manejo do fogo são essenciais para o desenvolvimento e perpetuação de algumas espécies vegetais no Cerrado [20]. Considerando a importância do manejo do fogo na savana, há registros da presença de incêndios há pelo menos 32 mil anos [21], sendo o fogo considerado responsável pelo antagonismo das fisionomias encontradas no cerrado [22]. A legislação de gestão do fogo precisa de ser adaptada para lidar com as questões do fogo, com o estabelecimento de metas ancoradas na sustentabilidade e compromissos eficazes e alcançáveis a longo prazo para reduzir os efeitos negativos do fogo nestes ambientes.

Considerando esse desafio premente, um método para minimizar danos imensuráveis causados pelas queimadas ecossistêmicas é a utilização do manejo integrado do fogo, que tem excelente aplicabilidade e ocorre por meio de queimadas prescritas, planejadas e autorizadas que consideram cada tipo de ecossistema. Esta abordagem resulta em diferentes propostas de tomada de decisão, incluindo o fogo como agente modelador [23], e entendendo as demandas das populações locais da área onde é aplicado, suas tradições culturais e condições socioeconômicas locais [24]. Portanto, há um aprimoramento na compreensão das relações fogo-homem-vegetação em diferentes ecossistemas brasileiros, especialmente aqueles do Cerrado, considerando sua ecologia [25] e atuando como agentes do equilíbrio dinâmico das savanas, das florestas e da regulação de o avanço e recuo da vegetação [26].

O objetivo geral deste estudo foi quantificar os efeitos do fogo na estrutura, composição, diversidade e estoques de carbono acima do solo do componente arbustivo-arbóreo de ecossistemas de savana diferentemente expostos ao fogo no Brasil central. O estudo foi realizado em três tratamentos de savana, dois dos quais submetidos a



regimes de fogo constantes (com e sem fogo anual planejado ao longo de 15 anos). Especificamente, quantificamos os efeitos do fogo sobre (i) a estrutura vertical e horizontal da vegetação, (ii) métricas de diversidade (riqueza, diversidade e uniformidade) e (iii) os estoques de carbono da biomassa acima do solo da vegetação arbustiva-arbórea de savana. Pretendemos responder às seguintes questões: (i) 15 anos de incêndios anuais são suficientes para alterar a composição florística e a diversidade dos ecossistemas de savana? ii) Qual é o efeito dos incêndios anuais nas estruturas verticais e horizontais da vegetação de savana? iii) A biomassa acima do solo e os estoques de carbono mudam após 15 anos de incêndios anuais em relação às áreas de controle? Testamos as seguintes hipóteses: H1) As queimadas anuais no cerrado alteram a composição e diversidade da vegetação; H2) A incidência do fogo diversifica a estrutura e modifica a distribuição das espécies entre as classes de tamanho; H3) Fitossociologia, estrutura horizontal e perda de vegetação são parâmetros para avaliar os efeitos do fogo em uma comunidade vegetal de savana; H4) As queimadas alteram os parâmetros verticais e horizontais, em comparação com comunidades onde não há fogo regular; e H5) o fogo influencia a riqueza, diversidade e uniformidade de espécies, alterando negativamente a riqueza em áreas regularmente queimadas.

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1. Área de estudo

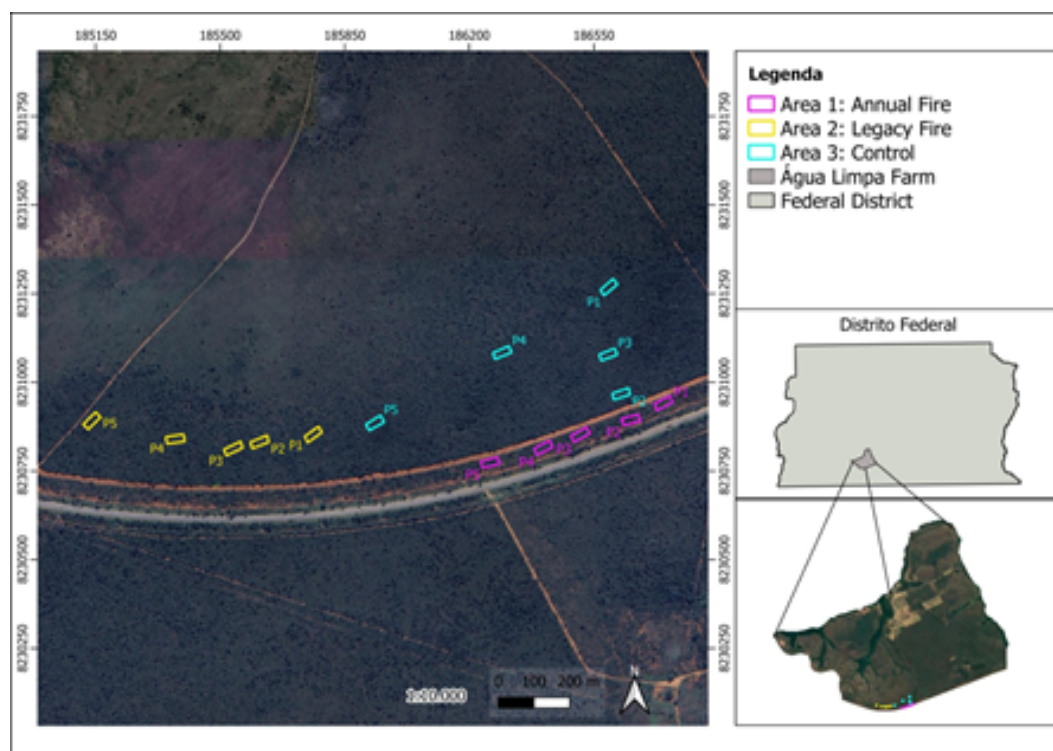
Este estudo foi realizado em ecossistemas de savana no Distrito Federal, Cerrado brasileiro. No Distrito Federal existe uma Lei Distrital (número 742 de 28 de julho de 1994) que trata da proteção de sua vegetação natural com histórico de vegetação nativa inalterado até a década de 1960. Com o início da construção de Brasília, a vegetação do Distrito Federal foi convertida em agricultura e urbanização, por meio de queimadas. Desde esse período até agora, têm sido testemunhadas altas taxas de desmatamento e degradação, especialmente através do uso do fogo. Isso levanta questões sobre os efeitos do fogo na composição, riqueza de espécies vegetais e estrutura da vegetação, motivando este e outros estudos [20] a responder algumas questões sobre a recorrência e importância desses distúrbios antrópicos.

A Fazenda Água Limpa (FAL), fazenda experimental da Universidade de Brasília (UnB), em cerrado stricto sensu (15° 56' - 15° 59' S e 47° 55' - 47° 58' W; entre 1.048 m e 1.150 m de altitude), a fitofisionomia predominante que cobre aproximadamente 1.480 ha [27,28]. Com cerca de 4.340 hectares de área total, a fazenda faz parte da Reserva da Biosfera do Cerrado [29], que inclui as Áreas de Proteção Ambiental (APA) Gama e Cabeça-de-Veados, o Jardim Botânico de Brasília (JBB) e a Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Na FAL, existem áreas de preservação, como a Área de Relevante Interesse Ecológico (córrego Capetinga-Taquara), de 2.100 hectares, com uma história que ultrapassa 30 anos de ensino, pesquisas dedicadas à proteção e conservação, e sustentabilidade ambiental [30]. A área de estudo possui clima do tipo Aw [31], com estações secas entre maio e outubro, estações chuvosas de novembro a abril, precipitação média anual de 1.600 mm e médias mensais entre 9 mm e 249 mm [32]. A temperatura do ar varia de 12 a 28,5°C e a umidade relativa de 15 a 70%. Esses solos são amplamente caracterizados como latossolos vermelho-amarelos distróficos, com alta acidez e baixa disponibilidade de nutrientes [33,34], influenciando o tipo de vegetação local. A área é composta por aproximadamente 45% de cerrado stricto sensu [35], distribuído em terreno plano. Para esta

pesquisa, as áreas (tratamentos) selecionadas no FAL foram uma área com histórico de queimadas anuais (área 1, ou incêndio anual), área com 15 anos após o último evento de incêndio (área dois, ou incêndio legado); e uma área sem registro de ocorrência de incêndio há 30 anos (área três, ou controle) (Figura 1).

## 2.2.2. Desenho amostral

Distribuição das parcelas em áreas de cerrado *stricto sensu*, da fazenda Água Limpa.



**Figura 1.** Localização da área de estudo: Fazenda Água Limpa (FAL), Distrito Federal, Brasil. Os tratamentos estudados (parcelas) estão delimitados nas imagens do google earth (2021), da seguinte forma: Área 1 (em rosa) = incêndio anual; Área 2 (em amarelo) = incêndio há 15 anos; Área 3 (em azul) = controle (área livre de incêndio nos últimos 30 anos).

Os três tratamentos de savana deste estudo foram escolhidos por sua alta riqueza de espécies e biodiversidade, e por contemplarem ambientes de fácil acesso pela população, por margearem uma rodovia, e possuírem um histórico de intervenções de fogo manipuladas, ou seja, incêndios integrados. gestão, há mais de 15 anos. Isto se baseia na minimização da disponibilidade de material combustível seco. Pela sazonalidade local, torna-se facilmente incandescente seja por especificidades naturais ou antrópicas, e as mediações decorrentes dessa prática não se aplicam de forma aleatória, mas contêm diferentes aspectos culturais, ecológicos e técnicos, e promovem a mitigação e prevenção de incêndios florestais em Vegetação brasileira. Além disso, aproximadamente 38% da área FAL é composta por ecossistemas de savana [36].

Em estudos de caracterização da vegetação no sentido estrito do cerrado [37], identificaram as principais composições de espécies, suas características, analisaram a diversidade existente, medindo os indivíduos e distinguindo a distribuição vertical e horizontal. Em geral, neste Bioma existem vários tipos de vegetação, tipificados em campos, com Campo Rupestre, Limpo e Sujo; florestal, sendo Mata Ciliar, Cerradão, Mata Seca e de

Galeria; e savanas, tendo Vereda, Parque de Cerrado, Palmeiral, Cerrado em sentido restrito e considerando 25 fitofisionomias [2]. A imensurável riqueza do Cerrado, bem como os componentes da fisionomia, também são descritos detalhadamente na análise de [20], sob a ação do fogo nessas formações.

### 2.2.3. Experimento de fogo

As parcelas amostrais foram alocadas dentro de uma área de cerrado *stricto sensu* com extensão aproximada de 7,50 km. Quinze parcelas (20 m x 50 m) foram alocadas aleatoriamente, três em cada tratamento, conforme protocolo bem estabelecido [20], totalizando 0,5 ha em cada tratamento amostrado e 1,5 ha em toda a área experimental. No tratamento 1 ocorre o experimento de fogo anual (Figura 1), caracterizado pela utilização do fogo anual durante 15 anos, definido como aceiro preto. A queima anual é realizada nos meses de junho ou julho, visando reduzir a carga de material combustível para evitar incêndios maiores. O aceiro preto do tratamento anual contra incêndio conta com o apoio de brigadistas da fazenda, equipe do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Exército Brasileiro, Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Ambiental de Brasília (IBRAM) e voluntários na vegetação que margeia a rodovia entre os meses de junho e julho, início do período de risco de incêndio na região. Atividade habitualmente utilizada para reduzir o material vegetal depositado, evitando assim possíveis focos de incêndio ou mesmo grandes incêndios, enquadra-se nos regulamentos estabelecidos pela legislação de gestão integrada de incêndios.

### 2.2.4. Coleta de dados de vegetação em campo

Para estimar os estoques de carbono acima do solo, foram coletados dados de identificação de espécies e dados de diâmetro e altura da vegetação por meio de um inventário florestal do componente arbóreo durante a estação seca. O inventário teve início no tratamento anual do fogo, antes do aceiro negro, entre abril e dezembro de 2021, quando cada parcela foi delimitada por estacas de ferro, subdivididas em 10 subparcelas de 100 m<sup>2</sup>, e foram medidos todos os indivíduos lenhosos de todas as parcelas nos três tratamentos. .

Todas as parcelas de 0,1 ha em cada tratamento, foram amostradas, num total de 0,5 ha por tratamento, totalizando 1,5 ha (3 tratamentos x 0,5 ha) combinando os três tratamentos. Todos os indivíduos com diâmetro de base (Db) 0,30 m acima do solo, com altura igual ou superior a 5 m [38] foram medidos e seus dados registrados. As medidas diamétricas foram feitas com paquímetro e a altura total com régua hipsométrica [39]. Indivíduos bifurcados foram medidos separadamente para obtenção da área basal e biomassa do caule. Todas as árvores que se enquadrassem nos critérios estabelecidos foram identificadas botanicamente nos níveis de família, gênero e espécie usando o sistema de classificação botânica APG IV [40] e atualizadas de acordo com a nomenclatura da lista da Flora do Brasil [41]. Este procedimento teve como objetivo quantificar os parâmetros de Diversidade de Shannon (H') e Equabilidade de Pielou (J) de acordo com [42,43], bem como a densidade do fuste (número de indivíduos lenhosos por unidade de área) e a riqueza (número de espécies por unidade de área) [44,45,46].

### 2.2.5. Estimativa do estoque de carbono acima do solo

Com os dados das árvores obtidos no inventário florestal, especificamente o diâmetro do caule e a altura total, foram estimados o estoque de carbono acima do solo usando modelos ajustados específicos do ecossistema [27,28]. Multiplicados os valores de biomassa por um fator de 0,47 [47] para obter valores de estoque de carbono.

#### 2.2.6. Análises estatísticas

##### Composição e estrutura florística

A análise da composição florística e estrutura da vegetação foi realizada a partir dos dados do inventário, utilizando parâmetros quantitativos estabelecidos por [45,27]. Para investigar os padrões de composição florística, foi realizada uma análise de escala multidimensional não métrica (NMDS) usando a abundância de espécies lenhosas por parcela (isto é, número de indivíduos por espécie em cada parcela) usando o software R (função metaMDS em pacote vegan; [48] com base na dissimilaridade de Bray Curtis (função vegdist no pacote vegan) e dados padronizados [49] para comparar tratamentos.

Os vetores de espécies que foram significativos ao nível de significância de 99% foram incluídos no gráfico NMDS. Após verificação da suposição de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk, foi realizada ANOVA para detectar diferenças entre os tratamentos nos parâmetros de diversidade e estrutura avaliados: índices de diversidade de Shannon e equitabilidade de Pielou, densidade de caule (indivíduos lenhosos por parcela) e riqueza de espécies (número de espécies por parcela).

##### Estoques de carbono

Neste estudo, a biomassa acima do solo foi estimada usando modelos ajustados por [45,28]. O estoque de carbono foi estimado como o produto dos valores de biomassa por um fator de 0,47 [46]. Os estoques de carbono acima do solo de árvores e arbustos entre os tratamentos foram estimados como:  $CE = 0,24564 + 0,01456 * Db^2 * Ht$  ( $R^2 = 98,29\%$  e  $Syx = 25,79\%$ ), onde CE = estoque de carbono por árvore, em kg; Db = Diâmetro medido na base (30 cm acima do solo) em cm; Ht = Altura Total da Árvore ou Arbusto, em m;  $R^2$  = coeficiente de determinação; Syx = erro padrão da estimativa [28].

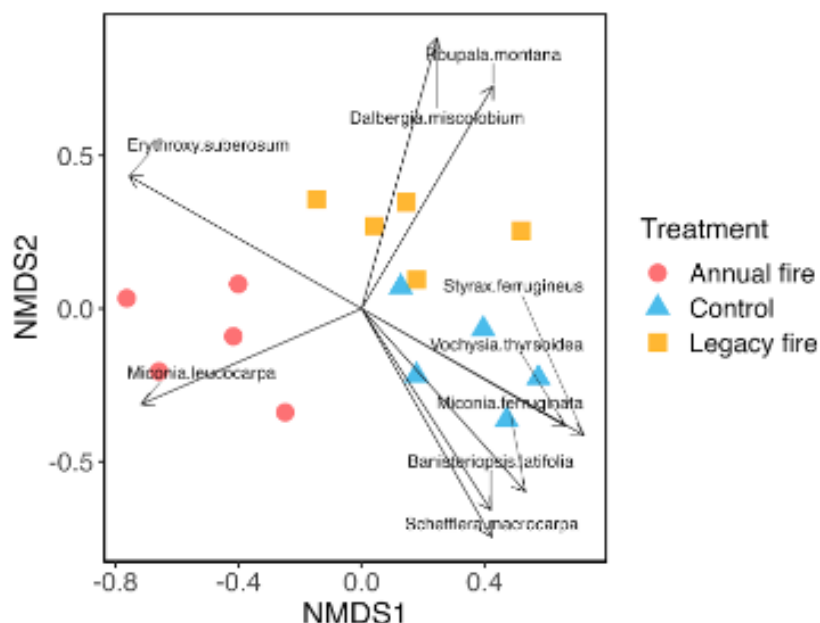
Os resultados dessa avaliação dos parâmetros analisados foram feitos por meio de boxplots, e as demais análises foram realizadas no software R (versão 3.6.2) [50].

## 2.3. RESULTADOS

### 2.3.1. Composição de espécies entre tratamentos

A análise NMDS indicou que a composição de espécies diferiu significativamente entre os tratamentos baseados na matriz de abundância de espécies, sugerindo que o fogo influenciou a composição florística dos ecossistemas de cerrado estudados (Figura 2). O NMDS mostrou que a composição florística do tratamento controle era mais semelhante à do tratamento legado do fogo do que à do tratamento anual do fogo, refletindo o efeito do fogo na composição das espécies nos ecossistemas de savana estudados. A ordenação demonstrou a separação entre as espécies nos tratamentos, com área controle e legado de fogo (registro de

incêndios de 15 anos) diferindo do tratamento anual de fogo. Neste caso, há evidências da existência de um número considerável de espécies sensíveis a incêndios repetidos.

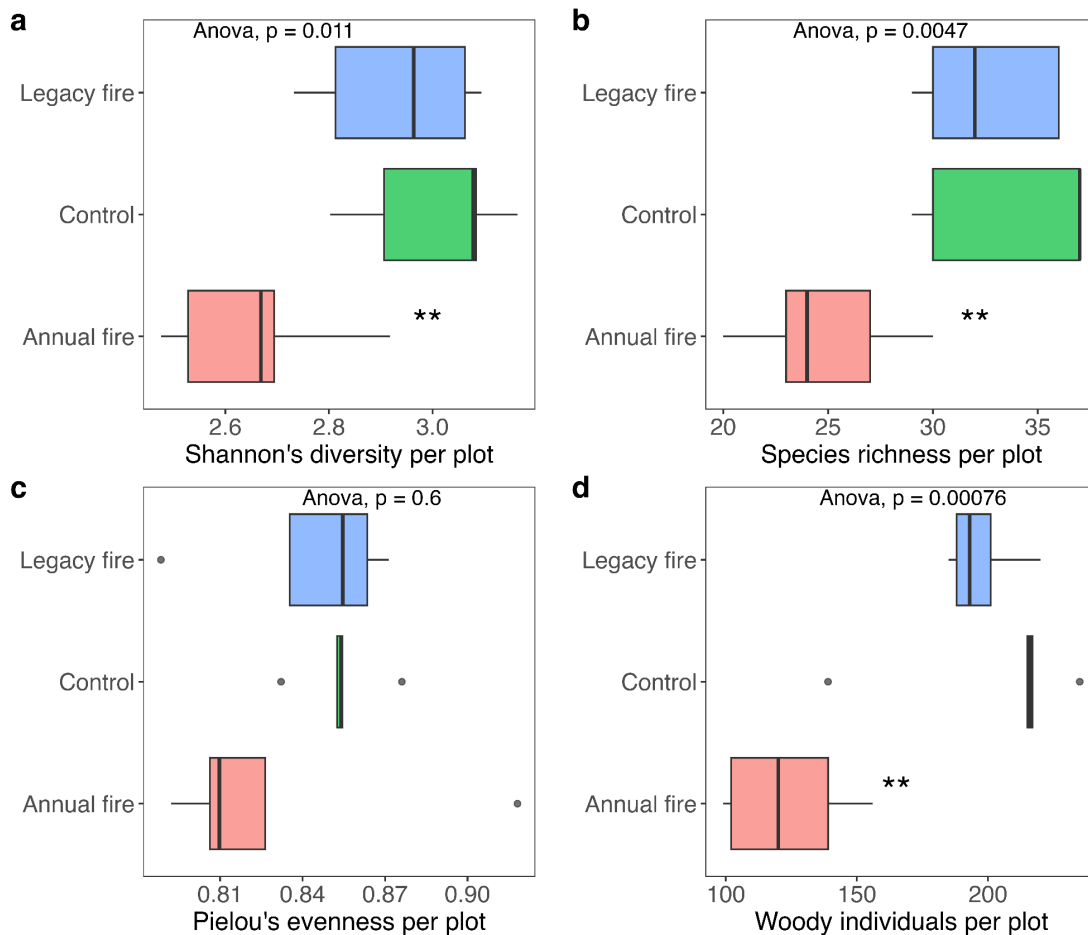


**Figura 2.** Ordenação de vetores de espécies significativas por parcela (cinco parcelas por tratamento). Distribuição de espécies por tratamento com base na análise de escala multidimensional não métrica (NMDS) para os três tratamentos, incluindo espécies com vetores significativos ao nível de significância de 99% (Tabela A1 do Apêndice). Os círculos representam o tratamento anual do fogo, os triângulos representam o controle (30 anos sem fogo) e os quadrados representam o legado do tratamento do fogo (ou seja, onde o fogo ocorreu 15 anos antes da pesquisa).

Entre os três tratamentos foram identificados 2.734 indivíduos, onde o controle apresentou 38,3% das espécies identificadas, seguido do tratamento legado fogo, com 37,6% das espécies, e no tratamento anual fogo o percentual de táxons foi de 24,1%. Algumas espécies, como a espécie *Miconia leucocarpa* (Fig. 2), estiveram fortemente associadas à ocorrência de fogo, porém, espécies como *Roupala montana*, apresentaram maior associação no tratamento do fogo legado, onde ocorreram maiores intervalos de incidência de fogo. Porém, espécies como *Miconia ferruginata* tiveram maior ocorrência no tratamento de extinção de incêndio. Esses diferentes comportamentos podem estar associados às estratégias de cada espécie, à arquitetura dos indivíduos [51]

### 2.3.2. Métricas de diversidade entre tratamentos

Avaliações das métricas de diversidade, equabilidade, riqueza e indivíduos por parcela entre os tratamentos.



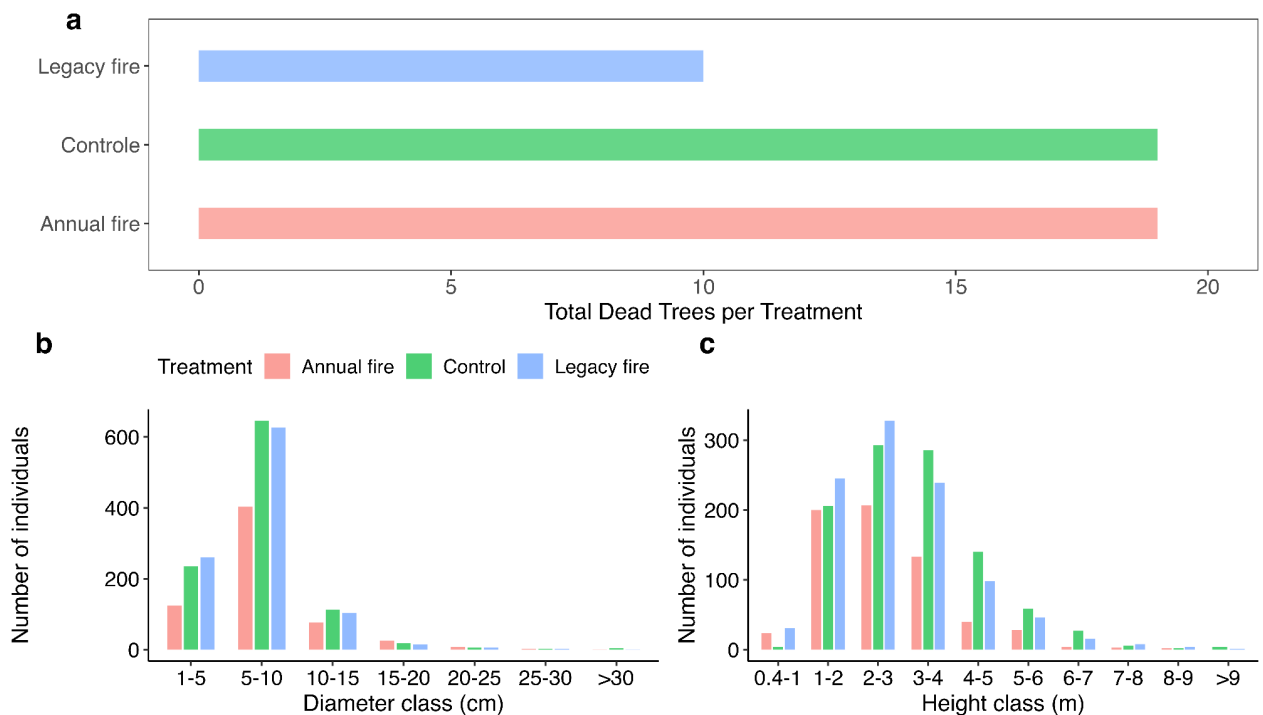
**Figura 3.** Estrutura (indivíduos lenhosos por parcela), riqueza, diversidade (Shannon-Wiener) e uniformidade da comunidade arbustivo-arbórea no cerrado stricto sensu da Fazenda Água Limpa, DF. (a) Diversidade de Shannon, (b) riqueza de espécies, (c) equitabilidade de Pielou e (d) número de indivíduos lenhosos por parcela nos três tratamentos no Cerrado brasileiro. Os boxplots mostram as bandas medianas que representam os valores medianos das variáveis, a superior e a inferior indicam o primeiro e terceiro quartis. As barras indicam os valores mínimo e máximo. Os pontos indicam valores discrepantes.

A diversidade de Shannon variou significativamente entre os três tratamentos, sendo a diversidade maior no tratamento controle, com valores variando entre 2,9 e 3,1, e menor no tratamento anual com fogo (Fig. 3a). O tratamento de controle não diferiu significativamente do tratamento de incêndio legado. A riqueza de espécies também variou entre os tratamentos, com valores no tratamento anual do fogo inferiores aos outros dois tratamentos (Fig. 3b).

A equitabilidade de Pielou não diferiu entre os tratamentos, com valores variando de 0,80 a 0,86. O valor encontrado para o tratamento fogo legado, 0,85, foi a maior média entre os três tratamentos, sugerindo que tal tratamento apresentou a maior regularidade (Fig. 3c). O número de indivíduos lenhosos por tratamento foi significativamente diferente. A Figura 3d mostra os efeitos do fogo no número de indivíduos em cada tratamento, com o maior número nas parcelas de controle, seguido pelo fogo legado e tratamentos anuais de fogo.

### 2.3.3. Diferenças estruturais entre tratamentos

Avaliação dos indivíduos mortos, diâmetro de classes e classes de altura entre os indivíduos nos tratamentos.

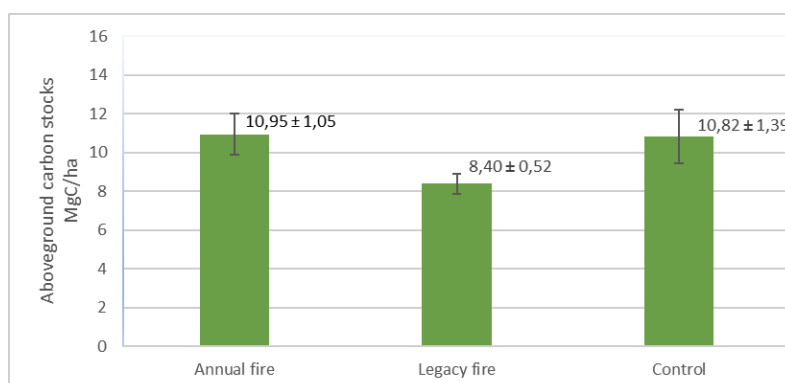


**Figura 4.** Diferenças estruturais na vegetação entre tratamentos sob efeito do fogo, incluindo (a) o número total de indivíduos mortos por tratamento, (b) o número total de indivíduos por tratamento em cada classe de diâmetro e (c) o número total de indivíduos por tratamento em cada classe de altura.

A Figura 4a mostra o número de árvores mortas em cada tratamento. No controle, foram identificados 19 indivíduos mortos, semelhantes em quantidade para o tratamento anual do fogo, contrastando com o fogo legado, com 10 indivíduos mortos. Dentre as distribuições de diâmetro obtidas em cada área (Fig. 4b), o tratamento legado do fogo apresentou o maior número de indivíduos nas classes de 1 a 5 cm; o tratamento controle se destacou com maior quantidade para as classes de diâmetro 5 - 10 cm teve indivíduos 612 e 10 - 15 cm teve 165 indivíduos. Porém, no diâmetro seguinte, 15 - 20 cm, destacou-se o tratamento anual do fogo com 42 indivíduos. Avaliações do número de indivíduos entre os diâmetros estabelecidos demonstraram sua uniformidade nas classes de diâmetro seguintes para os tratamentos estabelecidos. Entre as classes de altura (Fig. 4c), houve variação de poucos centímetros (0,4 m) até mais de 9 m. Nesta análise, o legado de tratamento contra incêndio apresentou o maior número de indivíduos, 606, com altura de até 3 m. Para as seguintes classes de altura, 3-4m a 7 m, o grupo de tratamento controle foi composto por mais indivíduos, 435. Porém, na classe de altura 7 - 8m, o tratamento fogo legado se destacou com 11 exemplares e 10 na classe de 8 - 9 m. Isto contrasta os três assuntos para o tratamento de controle e quatro para o fogo anual. Acima dos 9 m, os dois tratamentos (controle e fogo legado) tiveram quatro indivíduos cada, não havendo registro desta classe de altura para o tratamento anual do fogo.

#### 2.3.4. Estoques de carbono acima do solo entre tratamentos

Quantificação dos estoques de carbono entre os tratamentos analisados.



**Figura 5.** Estoques de carbono acima do solo estimados em arbustos vivos (em Mg C/ha) por tratamento.

A Figura 5 mostra a variação nos estoques de carbono acima do solo de arbustos vivos entre os três tratamentos, indicando variação substancial entre os tratamentos. Nossos dados indicam que o carbono acima do solo foi mais alto no tratamento de controle (11,3 Mg C/ha), seguido pelo fogo legado e tratamentos anuais de fogo (7,2 Mg C/ha). Esta análise destaca as principais consequências do fogo na vegetação do cerrado brasileiro em termos de estoque de carbono.

## 2.4. DISCUSSÃO

### 2.4.1. Relação entre o fogo e a composição de espécies do cerrado

Estes resultados apoiam a hipótese da influência das queimadas anuais na mudança da composição e diversidade de espécies no ecossistema de savana avaliado, indicando que a ausência de fogo por períodos relativamente mais longos contribuiu para o aumento na densidade de espécies. Esperava-se que, em geral, as diferenças do fogo afetariam negativamente a composição e a diversidade da vegetação entre os três tratamentos no Cerrado brasileiro. O fogo é um fator intrínseco na alteração da vegetação neste ambiente [49], conferindo a evolução, resistência e resiliência de algumas espécies [52,53]. Diversos estudos têm demonstrado que no Brasil, para o manejo de áreas para fins agrícolas e pecuários, o uso do fogo descontrolado tem causado altos índices de incêndios todos os anos, modificando as interações do homem com a vegetação, alterando o clima, os microrganismos existentes no solos, sendo o principal agente causador de problemas ambientais, afetando negativamente e ameaçando a biodiversidade [54]. Devido à incidência da exposição ao fogo, observamos que há perdas na composição e diversidade, o que contribui para a ameaça da vegetação e sua inclusão na lista de hotspots globais de biodiversidade [9].

Foi demonstrado que espécies afetadas pela recorrência do fogo, como *Miconia leuocarpa* da família Melastomaceae, a de maior representação no Cerrado brasileiro [55], e *Davilla elliptica*, família Dilleniaceae, cuja queima anual altera a capacidade de rebrota e desenvolvimento [56]. A frequência dos incêndios é importante para a vegetação devido ao tempo necessário para a recuperação dos nutrientes necessários para a rebrota do componente



acima do solo, o que em regimes constantes torna-se inviável e a planta não atinge o tamanho mínimo para resistência e resiliência ao fogo [20]. No entanto, nossa pesquisa mostrou que não ocorriam queimadas anuais, bienais ou quadrienais, mas com incêndios anuais a capacidade de superação, rebrota e o desenvolvimento de espécies com alturas e diâmetros médios era significativa, como *Dalbergia miscolobium* e *Roupala montana*, desenvolvendo-se bem com a inclusão do fogo em seu ciclo de crescimento. Os achados de estudos anteriores com fogos prescritos corroboram os nossos, mostrando que esses indivíduos apresentam maior altura após um fogo prescrito [19,20].

O fogo tem consequências prejudiciais no crescimento radial de algumas espécies de plantas e pode afetar negativamente a reprodução sexual [57]. A falta de estruturas nos diásporos das plantas monocotiledôneas, como tegumentos duros ou coberturas mais resistentes ao calor, também contribui para a perda de sementes durante a exposição ao fogo. Todas as camadas da vegetação do cerrado são afetadas pelo fogo, embora de formas diferentes, dependendo das características fenológicas da espécie. O fogo pode afetar negativamente a reprodução sexual de algumas espécies, ao mesmo tempo que favorece outras. Algumas espécies que habitam ambientes propensos ao fogo desenvolveram mecanismos que permitem a sobrevivência. Segundo [21], a casca é considerada o mecanismo mais importante pelo qual as árvores se protegem contra incêndios florestais devido à sua excelente capacidade de isolamento térmico. A presença do fogo pode influenciar vários aspectos das plantas, como a floração [58,59], a produção de frutos e sementes, a reprodução clonal [60] e a arquitetura das plantas [51]. [61] concluem que o aumento da espessura da casca promove um maior nível de proteção cambial. Outro mecanismo de sobrevivência nesta fitofisionomia é a promoção da regeneração com a aplicação do fogo que remonta ao século XVIII [62]. Em geral, a dinâmica da vegetação do Cerrado é favorecida por queimadas bienais, em que a capacidade de rebrota é favorecida dentro desta faixa de incidência do fogo, porém, topkill, morte da parte aérea, mas rebrota na parte basal da floresta pode ocorrer. órgãos tronco e subterrâneos, atribuição que é reduzida caso haja aumento de incêndios, causando danos graves ou morte [19,20]. Para esta vegetação, a rebrota é um mecanismo indispensável na regeneração, tendo o fogo como agente mantenedor [20].

A segunda hipótese testada, sobre os efeitos do fogo na composição e diversidade da vegetação, observando as diferenças na distribuição e abundância de espécies entre os tratamentos. Os achados corroboram estudos anteriores que descrevem o fogo no cerrado como condicionante de algumas espécies, onde ocorreu maior densidade e frequência para indivíduos das famílias Araliaceae (*Schefflera macrocarpa*) e Styracaceae (*Styrax ferrugineus*). Nos tratamentos de controle e legado de incêndios, outras famílias seguiram esta tendência. Isto pode ser explicado pela sensibilidade de alguns indivíduos às mudanças ambientais [2], que relataram que em um ecossistema de savana, algumas espécies são mais tolerantes ao fogo do que em outros ambientes [57]. Porém, também pode depender das peculiaridades de cada família. Estudos de fogo nas savanas brasileiras sugerem que as mudanças são promovidas pelo fogo, mas para entender quais espécies e famílias são mais resistentes ao fogo, são necessários vários dados durante períodos de tempo relativamente mais longos [63], diferentemente do objetivo deste trabalho.

Para este fim, a análise NMDS confirmou a distinção entre as composições de espécies entre os tratamentos. Embora os resultados reforcem a interferência das queimadas

recorrentes nos ecossistemas do cerrado, ainda não é possível e desejável suprimir completamente o fogo porque é um distúrbio natural historicamente necessário e a vegetação está adaptada [13,64,65,66]. Além disso, suprimir completamente os incêndios não é uma alternativa viável [67], pois produz acúmulo de matéria orgânica e influencia a intensidade dos incêndios, contribuindo para eventos catastróficos como aumento das emissões de carbono e perda de biodiversidade [68,69,70,71]. Portanto, os incêndios são necessários para eliminar o excesso de arbustos e materiais gramíneos [72]. Esses resultados subsidiam a tomada de decisão para operações que utilizam fogo, como o aceiro ou linha preta que a Fazenda Água Limpa é realizada anualmente.

#### 2.4.2. Efeito do fogo na diversidade da vegetação

A diferença na diversidade florística esteve fortemente correlacionada com o número de incêndios nos últimos 15 anos, sugerindo que o fogo é um fator determinante na estrutura das comunidades nesta savana, indicando que as espécies são resistentes a este gradiente de fogo. O estudo demonstrou que as parcelas excluindo o fogo resultaram em uma formação fitofisionômica mais fechada, dominada por árvores como *Tachigali subvelutina* e *Caryocar brasiliense* e arbustos (*Erythroxylum suberosum* e *Erythroxylum tortuosum*) sensíveis ao fogo. Em geral, em locais onde o fogo é excluído, existe a possibilidade de invasão da floresta sobre o cerrado, reduzindo a diversidade da vegetação arbustiva e herbácea, conhecido por processo de “invasão lenhosa” [77]. Os resultados fazem sentido, uma vez que alterações na camada herbácea podem demonstrar uma mudança na estrutura da comunidade, que é influenciada pelo fogo, alterando o número de espécies entre áreas com incêndios regulares e aquelas não queimadas [61], indicando que incêndios periódicos os eventos reduzem gradualmente a riqueza e a diversidade das espécies [78].

Neste estudo, ficou evidente que a diversidade média do índice de Shannon e a riqueza de espécies em todas as parcelas diferiram significativamente entre os tratamentos, sendo maiores para os tratamentos controle e legado do fogo. As descobertas sugerem que o fogo constante altera a riqueza e a diversidade das comunidades onde ocorre. Os estudos de ratificação de [79 e 80] mostraram que o fogo altera a estrutura, a composição e a densidade da vegetação, afetando os fluxos e a entrada de nutrientes. Diferentes estudos têm demonstrado que a ausência de fogo permite o estabelecimento de espécies sensíveis e a possibilidade de conversão para diferentes fitofisionomias [81,82,83], sendo positivo para espécies resistentes e negativo para espécies sensíveis a altas temperaturas [84,85,86,87].

As diferenças na uniformidade de Pielou para todas as parcelas entre os tratamentos delineados neste estudo enfatizaram a interferência do fogo na dinâmica pós-fogo da vegetação de savana. As diferenças encontradas na uniformidade das distribuições entre os tratamentos de controle e legado de fogo e no tratamento anual de fogo, pode ser explicado pelo fato de que áreas com altas taxas de queimadas têm mais cobertura arbórea aberta devido a uma alta mortalidade de árvores adultas [88]. Estes resultados confirmam a nossa hipótese porque a queima regular simplificou os parâmetros verticais e horizontais da comunidade vegetal. Certamente, espécies de plantas sensíveis aos incêndios são perdidas em áreas com incêndios intensos [89]. No entanto, estudos anteriores sobre os efeitos do regime de fogo nas comunidades do Cerrado [20] sugeriram que o fogo é essencial para o Cerrado, atuando como um elemento natural para o bioma e contribuindo para a evolução e diversidade de espécies nesta região fisionômica.

Como esperado, as parcelas tratadas com fogo anual tiveram menos indivíduos lenhosos, com um total de 147 indivíduos, em contraste com o tratamento legado com fogo com 200 espécies, e o controle com maior número de espécies lenhosas, o que por sua vez afetou o desenvolvimento da vegetação. Um estudo no mesmo tipo de bioma cerrado [20] avaliou a incidência de fogo durante alguns anos, observando redução da vegetação arbustiva, enfatizando que queimadas recorrentes provocam a mortalidade de plantas lenhosas [90,91], aumentam a dominância de gramíneas [20], altera a paisagem, altera a composição florística [59], empobrece o complexo sistema de cerrado e modifica a estrutura ambiental [27].

#### 2.4.3. Efeitos do fogo na estrutura da vegetação

Um total de 473 indivíduos vivos foram registrados em todos os tratamentos deste estudo, sendo 110 indivíduos no tratamento anual de fogo, 170 no tratamento de fogo legado e 193 no controle. Foram encontradas menores mortalidades de árvores no tratamento do fogo legado, com 10 árvores mortas, em contraste com as 18 árvores mortas encontradas nos outros dois tratamentos (Figura 4a). Esse perecimento de espécies vegetais nas savanas brasileiras é notável pela inflamabilidade dos indivíduos, favorecendo processos seletivos de plantas com maior e menor adaptação [92]. Em locais com queimadas constantes, o número de árvores e espécies mortas deriva daquelas com casca mais fina e raízes menos desenvolvidas, tornando-as mais suscetíveis [93,94,95]. Outro fator que contribui para altas taxas de mortalidade, neste caso, para uma área com registro anual de queimadas, é a quantidade de combustível fino, gramíneas, folhas, troncos e galhos finos depositados no solo [96]. Porém, também foi constatado que a não ocorrência do fogo não significa redução da mortalidade, explicando a necessidade do fogo para o crescimento das espécies no Cerrado brasileiro. Portanto, a mortalidade não apresenta grandes diferenças entre florestas onde ocorrem incêndios esporádicos e intercalados [94].

Os valores diamétricos (Figura 4b) foram fortemente influenciados pelo critério mínimo adotado de 5 cm, conforme estudo que subestimou indivíduos de espécies arbustivas e subarbustivas [97]. O tratamento do fogo legado se destaca nesta classe de diâmetro inicial, indicando que as queimadas, além dos solos pobres e da sazonalidade das chuvas, são determinantes da composição da vegetação do Cerrado [21]. Esses resultados indicam padrões diamétricos não generalizados no Cerrado brasileiro, apoiando pesquisas onde a política de fogo zero não conserva, muito menos protege, a biodiversidade existente [98]. Diferentes regimes de fogo determinados pela frequência e gravidade e associados a fatores de mudança global e vetores de fogo influenciam e impulsionam as diversas características do bioma [99]. Conforme mostrado no tratamento do fogo legado, certos períodos de crescimento de espécies beneficiam o fogo e, embora o fogo influencie positivamente o tratamento, para a métrica avaliada, seus efeitos diferiram fortemente em cada tratamento [70]. Segundo [19], o caráter esporádico dos eventos de fogo pode ser um fator renovador para as plantas, havendo evidências de que algumas espécies necessitam do fogo para se desenvolverem, o que pode ter levado indivíduos de classes de menor diâmetro a se destacarem pela inclusão do fogo em seu grupo. vida útil.

Porém, na avaliação das classes diamétricas, as plantas mediam entre 5 e 10 cm, as queimadas não foram favoráveis, apontando para um maior crescimento diamétrico; para o controle, maior número de plantas está dentro da classe citada e a queima regular reduz o

número de indivíduos. Para a classe de diâmetro seguinte, 10 a 15 cm, houve diferença considerável no número de indivíduos para os três tratamentos, indicando as principais características dos efeitos do fogo na vegetação de cerrado, reforçando que se trata de um ambiente com árvores de menor diâmetro e, conseqüentemente, casca mais fina, e espécies arbustivas, que sofrem mais lesões durante a queima [70]. Os seguintes valores de classes de diâmetro corroboram a sugestão fornecida por [19] de que espécies com diâmetros superiores a 5 cm sobrevivem a incêndios frequentes, especialmente devido à complexa dinâmica dos ecossistemas de savana, refletindo as adaptações das espécies às diferentes variações climáticas, flutuações de temperatura, particularidades edáficas, intervenções antrópicas e danos pós-queimadas, e a interação entre todas essas variáveis se reflete na área basal dos ecossistemas de savana.

A altura dos arbustos arbóreos variou de 0,4 m a mais de 9 m entre os tratamentos (Fig. 4c), com diferenças no número de indivíduos dentro de cada classe de tamanho entre os tratamentos. Notamos que o legado de tratamento contra incêndio se destacou com o maior número de indivíduos (606), com alturas de até três metros. Dentre as classes de altura seguintes, de 0,4 a 1 m, o tratamento que mais apresentou exemplares foi o tratamento com ocorrência de fogo, indicando que para o crescimento das plantas o fogo é essencial para o desenvolvimento. Nas classes de altura 3 - 4 m a 7 m, o tratamento controle agrupou a maioria dos indivíduos (435). Porém, na dimensão 7-8m, o tratamento legado ao fogo se destacou com 11 exemplares e 10 na classe 8-9m. Acima dos 9 metros, os dois tratamentos (controle e fogo legado) contaram com quatro indivíduos cada, não havendo registro desta classe de altura para o tratamento anual do fogo. Em termos de estrutura vertical do ecossistema estudado, os tratamentos apresentaram diferenças significativas para os menores tamanhos, onde os tratamentos com ocorrência de fogo tiveram maior número de indivíduos, apoiando o papel do fogo na formação da estrutura dos ecossistemas de savana [100,101,102].

O tratamento há 15 anos, apresentou a maior densidade de fustes dentro de uma classe de altura de 1 a 3 m. Nesta classe de altura, *Dalbergia miscolobium*, *Pouteria ramiflora*, *Roupala montana* e *Miconia burchellii* ocorreram com alturas máximas, beneficiando-se de um episódio de fogo para maximizar seu desenvolvimento e assim se destacarem em relação às demais espécies. Porém, para alturas acima de 3 m a 7 m, à medida que as árvores atingiram tamanhos maiores, além da redução no número de espécies, os tratamentos também diferiram. Entre os 8 m, foram identificadas duas espécies no tratamento do fogo legado e uma para os três tratamentos até 9 m de altura. Também identificada uma espécie de *Bowdichia virgilioides* e *Caryocar brasiliense* acima de 9 m de altura no tratamento controle. Estes achados indicam que o tratamento controle teve mais indivíduos nas classes de maior porte e não houve ocorrência de indivíduos com grande estatura. Além disso, as espécies estudadas podem ter se beneficiado dos efeitos indiretos do fogo na composição e funcionamento do ecossistema, aumentando a disponibilidade de nutrientes, luz e água [103]. Os efeitos diretos e indiretos do fogo no desenvolvimento da vegetação tropical são o resultado da competição, da rápida liberação de nutrientes no solo, da sazonalidade e das características do fogo, intensidade, frequência e duração [104].

#### 2.4.4. Efeitos do fogo nos estoques de carbono acima do solo entre tratamentos

O fogo afeta os fluxos de carbono do ecossistema [105,106] porque árvores e arbustos armazenam carbono acima e abaixo do solo [107,108]. Assim, no manejo do fogo em ecossistemas com grande riqueza e diversidade fitossociológica de espécies, como no cerrado stricto sensu [58,27], um fator de grande importância nas medições indiretas é a precisão das estimativas de produtividade. Essa estimativa precisa depende da aplicação de equações alométricas específicas geradas para esses ambientes [27,28], que envolvem dados de atributos das árvores como diâmetro, densidade da madeira e altura, coletados de indivíduos da comunidade vegetal estudada [27].

Os valores do estoque de carbono são bons preditores das condições estruturais de uma floresta [109], de modo que as florestas em sucessão natural com árvores menores têm distribuições menos dispersas de carbono acima do solo [110]. Além de áreas com menos interferência, as características intrínsecas do local influenciam os estoques, composição e diversidade de carbono [111]. Os dados de carbono acima do solo apoiam discussões sobre as mudanças impostas pela frequência de incêndios no Cerrado brasileiro. Incêndios menos frequentes (por exemplo, tratamento de controle) contribuem para a diferenciação dos níveis de estoque de carbono em uma região, influenciam a altura das árvores, o tipo de cobertura arbórea existente e maximizam a biomassa lenhosa acima do solo [112,113]. Porém, as savanas afetadas pelo fogo de forma esporádica, como no legado do tratamento do fogo, apresentam aumento da complexidade estrutural, alterações no habitat, aumento e diversidade da biomassa e, conseqüentemente, maior disponibilidade de nutrientes no solo. Assim, neste estudo, as altas taxas de queimadas não foram favoráveis ao estoque de carbono, pois a sazonalidade dos eventos de fogo reduziu consideravelmente o aporte de gramíneas, galhos, folhas e pequenos arbustos e, portanto, os estoques de carbono.

Áreas com diferentes valores de estimativas de carbono em seu habitat natural podem estar relacionadas a peculiaridades, como variações de altura e diâmetro, idade, tipo de interferência antrópica, número de indivíduos [114,115], tipo de solo e fertilidade, topografias [116], e densidade individual [117]. Em nosso estudo, os estoques de carbono acima do solo variaram em função dos efeitos diretos do fogo na biomassa. O regime de perturbação induziu o tratamento com fogo anual e a redução dos principais constituintes da vegetação, influenciando a dinâmica dos estoques de carbono. Sugere-se que a redução dos componentes arbóreos onde o fogo ocorreu regularmente aumentou a disponibilidade de luz e modificou o microclima causando alterações nos estoques de carbono, também devido à exposição da vegetação a altas temperaturas durante os incêndios. As estimativas de estoque de carbono obtidas nesta pesquisa de 10,95 Mg/ha no fogo anual, 8,41 Mg/ha no fogo legado e 10,90 Mg/ha no controle foram inferiores às encontradas por [109], que quantificou o estoque de carbono na Fazenda Água Limpa e estimou estoques em 8,60 Mg/ha, [27], que encontraram valores próximos a 3,3 Mg/ha. Essas diferenças podem estar relacionadas ao fato de poderem ter sido causadas pelas ocorrências de incêndio nos tratamentos, mas de forma geral, argumentamos que a supressão de incêndios para esta avaliação, contribuiu para o aumento do estoque de carbono.

Mesmo que os valores desta análise não tenham sido relativamente elevados para os tratamentos com fogo, porque as coletas foram realizadas em um período menor do que a maioria dos estudos anteriores, medir o impacto do fogo no balanço de carbono é extremamente importante devido à sua complexidade e desempenho no controle de espécies

composição, influenciando o desenvolvimento dos ecossistemas e impactos nos serviços ecossistêmicos. Assim, para o nosso local de estudo, a frequência de ocorrência de incêndios nesta vegetação influencia os estoques de carbono acima do solo. Além disso, as respostas da vegetação a incêndios variam de acordo com a duração, frequência e intensidade [117].

Portanto, os efeitos de longo prazo dos incêndios podem modificar os padrões, fluxos e estoques de carbono no cerrado brasileiro. Assim, distinguir as consequências do fogo, no curto e no longo prazo, na distribuição, composição de espécies e estoques de carbono nesses locais é um desafio, pelas diversas características de cada fitofisionomia, além do fato de que a disseminação do efeitos nocivos se sobrepõe aos debates atuais, onde o manejo do fogo nas savanas tropicais deve ser considerado nos processos de tomada de decisão. A perda de biomassa por eventos de fogo contribui para a exposição do estrato arbóreo e a perda de indivíduos lenhosos, alterando o clima e as comunidades vegetais [54]. Os resultados fundamentam afirmações de que o fogo não deve ser completamente excluído deste ecossistema devido ao acúmulo de biomassa seca, o que intensifica a possibilidade de incêndios grandes e intensos [65,66,69,70]. No geral, entendendo como a biomassa acima do solo varia no cerrado, o estoque de carbono trará respostas ambientais a este parâmetro, fornecendo informações sobre estimativas de estoques de carbono e auxiliando nas políticas de conservação [117].

## 2.5. CONCLUSÕES

Este estudo explorou os efeitos do fogo na vegetação de uma savana neotropical brasileira, sugerindo a interferência dos incêndios anuais na diversidade, composição, riqueza e distribuição vertical e horizontal dos indivíduos. As hipóteses relacionadas à composição e estrutura da vegetação foram apoiadas, uma vez que os incêndios anuais alteraram os parâmetros da vegetação avaliada, diversificando a distribuição e impondo padrões divergentes quando comparados aos tratamentos sem fogo regular. Contrariamente às nossas expectativas, a mortalidade das árvores foi determinada tanto pelo fogo como pela sua ausência. Deduz-se que a ausência de fogo não caracterizou a isenção de mortes de árvores. Em geral, os estoques de carbono acima do solo são reduzidos com os incêndios anuais. No futuro, a avaliação da biomassa em um período mais longo será capaz de prever essas estimativas para considerar a sazonalidade e determinar os níveis de interferência antrópica e natural, bem como estabelecer parâmetros de perturbação do fogo para restauração e conservação dos estoques de carbono nestas savanas. ecossistemas.

Existem muitos desafios a serem superados na estimativa dos estoques de carbono em ecossistemas de cerrado devido a aspectos ambientais e estruturais, aos diferentes tipos de vegetação e à aplicação de ferramentas e metodologias que consideram a variabilidade e especificidade de cada local. Estudos adicionais, que demoram mais para serem avaliados em campo, são essenciais para aprofundar a compreensão dos principais efeitos do fogo em toda a composição e estrutura dos ecossistemas de cerrado, seja para avaliação de padrões comportamentais na mediação de cada componente da biomassa, as consequências na ciclagem de nutrientes, no desenvolvimento e mortalidade de indivíduos lenhosos, e no

incremento que os eventos de fogo impõem e influenciam nos estoques de carbono e na dinâmica e regeneração do ecossistema pós-fogo.

**Contribuições dos autores:** Conceitualização, S.C.M.N., R.S.P., P.V.S; metodologia, SCMN, RSP, PVS; análise formal, RSP; UNB., CAPES.; curadoria de dados, S.C.M.N., R.S.P; redação - preparação do rascunho original, S.C.M.N., B.B., R.S.P.; redação - revisão e edição, S.C.M.N., B.B., R.S.P. PV, AFT; supervisão, B.B e R.S.P. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília – UNB; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES

**Declaração de Disponibilidade de Dados:** Os dados poderão ser disponibilizados mediante solicitação ao primeiro autor.

**Agradecimentos:**

Os autores agradecem à estação de pesquisa Fazenda Água Limpa e seus funcionários Sebastião, Geraldo, Rodrigo, Augusto, Alcides, Augustinho, Luciano, Mauro, Miron, Zico, Queen, Alexandre Palermo, Lícia, professora Ana Maria por todo apoio para desenvolver este estudo, Pâmela Virgílio pelo apoio aos trabalhos de campo e laboratório; André pelo apoio na realização do inventário florestal; aos funcionários da Fazenda Água Limpa, do programa de pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade de Brasília, e da CAPES pela bolsa de doutorado e incentivos financeiros para sobrevivência e realização das análises.

**Conflitos de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesses

## Apêndice A

Tabela A1. Resultados da análise de escala multidimensional não métrica (NMDS). R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação e os asteriscos referem-se ao nível de significância, onde aqueles com três asteriscos são os vetores incluídos no NMDS Figura 2.

Espécies	Família	NMDS1	NMDS2	R <sup>2</sup>	P-value
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.f.	Opiliaceae	0.54628	0.8376	0.2012	0.321
<i>Aspidosperm tomentosum</i> Mart.	Apocynaceae	0.90325	0.42912	0.1018	0.511
<i>Banisteriopsis latifolia</i> (A.Juss.) B. Gates	Malpighiaceae	0.53772	-0.84312	0.6093	0.001 ***
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg.	Myrtaceae	-0.15560	0.98782	0.0870	0.598
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	Malpighiaceae	-0.86522	-0.50139	0.1873	0.295
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Malpighiaceae	-0.91416	-0.40534	0.0769	0.654
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	0.29841	0.95444	0.1670	0.328
<i>Casearia sylvestris</i> Sw	Salicaceae	-0.91062	-0.41324	0.3848	0.052 .
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Caryocaraceae	0.88254	-0.47024	0.4325	0.014 *
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Connaraceae	-0.93377	0.35786	0.0402	0.779
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Mimosoideae	0.26686	0.96374	0.8432	0.001 ***
<i>Dalbergia elliptica</i>	Fabaceae	0.63236	-0.77468	0.2087	0.275
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	Dilleniaceae	-0.80026	-0.59965	0.3734	0.035 *
<i>Diospyros burchellii</i> Hiern	Ebenaceae	-0.57408	0.8188	0.0911	0.676



<i>Diospyros lasiocalyx</i> (Mart.) B. Walln.	Ebenaceae	0.20319	0.97914	0.5188	0.014 *
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Fabaceae	0.38512	-0.92287	0.2701	0.056 .
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F. Macr.	Fabaceae	0.81475	-0.57982	0.0684	0.691
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less	Asteraceae	-0.43466	-0.90059	0.2094	0.241
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	Malvaceae	0.99989	0.01483	0.0304	0.823
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil	Erythroxylaceae	-0.22797	-0.97367	0.0002	0.999
<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil	Erythroxylaceae	-0.86718	0.498	0.7576	0.001 ***
<i>Erythroxylum tortuosum</i> A. St.-Hil	Erythroxylaceae	0.76754	-0.641	0.2761	0.125
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	Nyctaginaceae	0.77366	-0.6336	0.4021	0.047 *
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Chm.) Mattos	Bignoniaceae	0.84702	0.53156	0.1538	0.370
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Apocynaceae	-0.22933	-0.97335	0.1786	0.412
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. Ex Hayne	Fabaceae	0.32592	-0.9454	0.4944	0.026 *
<i>Heteropterys byrsonimiifolia</i> A. Juss	Malpighiaceae	0.45763	-0.88914	0.0534	0.768
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc	Callophyllaceae	0.05631	0.99841	0.1677	0.411
<i>Kielmeyera speciosa</i> A. St.-Hil.	Callophyllaceae	0.25950	0.96574	0.4671	0.022 *
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	Loganiaceae	0.88586	-0.46396	0.0725	0.861

<i>Leptolobium dasy carpum</i> Vogel	Fabaceae	-0.49854	-0.86686	0.1652	0.359
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	Fabaceae	0.73150	-0.68184	0.4537	0.013 *
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Melastomataceae	0.60432	0.79674	0.2459	0.162
<i>Miconia leucocarpa</i> DC	Melastomataceae	-0.91636	-0.40035	0.6099	0.002 **
<i>Miconia burchelli</i> Triana	Melastomataceae	0.16307	0.98661	0.3891	0.046 *
<i>Miconia speciosa</i> (A.St.-Hil. & Naudin) Naudin	Melastomataceae	0.13303	0.99111	0.1687	0.519
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	Melastomataceae	0.66501	-0.74684	0.6406	0.004 **
<i>Mimosa clausenii</i> Benth	Fabaceae	0.76611	-0.64271	0.1956	0.265
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Primulaceae	-0.04177	0.99913	0.1592	0.425
<i>Neea theifera</i> Oerst	Nyctaginaceae	-0.9057	-0.42392	0.0731	0.640
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill	Ochnaceae.	0.10205	0.99478	0.0456	0.739
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Rubiaceae	0.21823	0.9759	0.3388	0.061 .
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk	Sapotaceae	0.60027	-0.79979	0.4059	0.027 *
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	Asteraceae	-0.84519	-0.53447	0.2268	0.209
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess	Myrtaceae	0.19464	0.98087	0.0218	0.913
<i>Plenckia populnea</i> Reissek	Celastraceae	-0.71841	-0.69562	0.2406	0.224
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	Fabaceae	0.79357	-0.60848	0.3462	0.072 .
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	0.42728	-0.90412	0.3066	0.129

<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	-0.03812	0.99927	0.1074	0.524
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	0.86802	-0.49653	0.2768	0.123
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	0.50624	0.86239	0.7116	0.001 ***
<i>Rourea induta</i> Planch.	Connaraceae	0.98941	0.14514	0.0767	0.674
<i>Salacia crassifolia</i> (Mart. ex Schult.) G.Don	Celastraceae	0.63236	-0.77468	0.2087	0.275
<i>Schefflera</i> <i>macrocarpa</i> (Cham. & Schltldl.) Frodin	Araliaceae	0.49271	-0.87019	0.7362	0.001 ***
<i>Symplocos</i> <i>rhamnifolia</i> A.DC.	Symplocaceae.	0.53729	0.8434	0.2863	0.147
<i>Strychnos</i> <i>pseudoquina</i> A. St.-Hil.	Loganiaceae	0.83442	-0.55114	0.1168	0.541
<i>Syagrus comosa</i> Mart.	Arecaceae	0.05081	0.99871	0.0976	0.609
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees. & Mart	Styracaceae	0.86754	-0.49737	0.6936	0.001 ***
<i>Stryphnodendron</i> <i>adstringens</i> (Mart.) Coville	Fabaceae	0.77755	-0.62883	0.1788	0.291
<i>Solanum</i> <i>lycocarpum</i> A.St.-Hill	Solanaceae	0.00000	0	0.0000	1.000
<i>Tachigali</i> <i>subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	Fabaceae	-0.49209	-0.87054	0.1239	0.422
<i>Vatairea</i> <i>macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Leguminoseae	0.35803	-0.93371	0.0222	0.900
<i>Vochysia</i> <i>thyrsoidea</i> Pohl	Vochysiaceae	0.86539	-0.50109	0.5867	0.002 **
<i>Vochysia elliptica</i> Mart.	Vochysiaceae	0.67429	0.73847	0.4986	0.012 *
---					
Signif. codes: 0 '***' 0.00		1 '***' 0.0	1 '*' 0.	05 '.' 0	.1 ' ' 1

## 2.6. REFERÊNCIAS

1. Zimbres, B. Shimbo, J.; Bustamante, M.; Levick, S.; Miranda, S.; Roitman, I.; Silvério, D.; Gomes, L.; Fagg, C.; Alencar, A. Savanna vegetation structure in the Brazilian Cerrado allows for the accurate estimation of aboveground biomass using terrestrial laser scanning. **For. Ecol. Manage.** 2020, 458 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117798> .
2. Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (eds.) Cerrado: ecologia e fóruns. **Embrapa Informação Tecnológica.** 2008, Brasília, pp 151–212. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/570911> .
3. Terra, M. De C.N.S.; Prado-Júnior, J.A.Do.; Souza, C.R.DE.; Pinto, L.O.R.; Silveira, E.M.De O.; Cordeiro, N.G.; Cirne-Silva, T.M.; Mantovani, V.A.; Scolforo, J.R.S.; Mello, J.M.De . Tree species dominance in neotropical savanna aboveground biomass and productivity. **For. Ecol. Manage.** 2021, 496, 119430. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119430>.
4. Sano, E. E.; Rodrigues, A. A.; Martins, E. S.; Bettiol, G. M.; Bustamante, M. M. C.; Bezerra, A. S.; JR, A. F. C.; Vasconcelos, V.; Schüler, J.; Bolfe, E. L.. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828. 2019, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30529869/> .
5. Rocha, G.F., Ferreira, L.G., Ferreira, N.C., Ferreira, M.E. Detecção de desmatamento no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, Tendências e Impactos. **Rev. Bras. Cartogr.** 2011, 63, 341–349. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
6. Swann, A.L.S. . Plants and drought in a changing climate. *Curr. Clim. Chang.Reports.* 2018, 4, 192–201. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0097-y>.
7. Strassburg, B. B. N.; Brooks, T.; Feltran-Barbieri, R.; Iribarrem, A.; Crouzeilles, R.; Loyola, R.; Latawiec, A. E.; Oliveira Filho, F. J. B.; Scaramuzza, C. A. de M.; Scarano, F. R.; Soares-Filho, B.; Balmford, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, 2017, v. 1, p. 1–3. <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0099> .
8. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Brasília: MMA, 2016. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80112/CNUC\\_Agosto%20-%20Biomass%201.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80112/CNUC_Agosto%20-%20Biomass%201.pdf) . Acesso em: 20 jul. 2021.
9. Myers, N.; Mittermeyer, R.A.; Mittermeyer, C.G.; Da Fonseca, G.A.B.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature.** 2000, 403, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501> .
10. Silveira, E.M.O.; Silva, S.H.G.; Acerbi-Junior, F.W.; Carvalho, M.C.; Carvalho, L.M.T.; Scolforo, J.R.S.; Wulder, M.A. Object-based random forest modelling of aboveground forest biomass outperforms a pixel-based approach in a heterogeneous and mountain tropical environment. *Int. J. Appl. Earth Obs.* **Geoinf.** 2019, 78, 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.02.004>.

11. Gomes, L.; Miranda, H. S.; Maria, M. Forest Ecology and Management How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? **Forest Ecology and Management**. 2018, v. 417, n. February, p. 281–290. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717321850> .
12. Strassburg, B.B.N.; Iribarrem, A.; Beyer, H.L.; Cordeiro, C.L.; Crouzeilles, R.; Jakovac, C. C.; Braga Junqueira, A.; Lacerda, E.; Latawiec, A.E.; Balmford, A.; Brooks, T.M.; Butchart, S.H.M.; Chazdon, R.L.; Erb, K.H.; Brancalion, P.; Buchanan, G.; Cooper, D.; Díaz, S.; Donald, P.F.; Kapos, V.; Leclere, D.; Miles, L.; Obersteiner, M.; Plutzer, C.; Carlos, C.A.; Scarano, F.R.; Visconti, P. Global priority areas for ecosystem restoration. **Nature**. 2020, 586, 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9> .
13. Coutinho, L.M.; Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: Goldammer, J.G. (Ed.), Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges. **Springer Verlag**, Berlin, 1990, pp. 82–105. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-75395-4\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-75395-4_6) .
14. Mistry, J. Savanas Mundiais: Ecologia e Uso Humano. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, **Prentice Hall**, 2000. <http://dx.doi.org/10.1191/030913398668494359>.
15. Pereira, K.M.G.; Cordeiro, N.G.; Terra, M. de C.N.S.; Pyles, M.V.; Cabacinha, C.D.; Mello, J.M. de; van den Berg, E. Protection status as determinant of carbon stock drivers in Cerrado sensu stricto. *Journal of Plant Ecology*. 2020, 13 (3): 361–368. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtaa024>.
16. Cianciaruso, M.V.; Silva, I.A. & Batalha, M.A. Aboveground biomass of functional groups in the ground layer of savannas under different fire frequencies. *Australian Journal of Botany*. 2010, 58(3): 169-174.
17. Haridasan, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Bras Fisiol Veg**, 2000, 12:54-64. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
18. Eiten, G. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. **UnB: SEMATEC**. 1994, pp. 1-73. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
19. Medeiros, M.B.; Miranda, H.S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta Bot. Brasilica*. 2005, 19,493–500. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000300009>.
20. Miranda, H.S. (ORG.). Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades do **Cerrado: Projeto Fogo**. IBAMA. Brasília, 2010, 144 p. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
21. Ferraz-Vicentini, K.R.C. **História do fogo no Cerrado**. Tese (Doutorado) – Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília, Brasília, 1999. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
22. Solbrig, O. T.; Young, M. D. Economic and ecological driving forces affecting tropical savannas. In.: Young, M. D.; Solbrig, O. T. (ed.). The world's savannas: economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use. Unesco, Paris: The Parthenon Publishing Group. 1993, p.3-18. (Man and Biosphere Series, v.12). <https://scholar.google.com.br/scholar> .
23. Pivello, V.R.; Norton, G.A. 1996. Firetool: An expert system for the use of prescribed fires in cerrado (Brazilian savanna) conservation areas. **Journal of Applied Ecology**, 1996, 33: 348-356. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03829-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03829-7) .

24. Eloy, L.; Schmidt, I. B.; Borges, S. L.; Ferreira, M. C.; Dos Santos, T. A. Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian **Cerrado**. **Ambio**. 2019, 48(8), 890–899. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1118-8> .
25. Bilbao, B.; Mistry, J.; Millán, A.; Berardi, A. . Sharing multiple perspectives on burning: towards a participatory and intercultural fire management policy in Venezuela, Brazil, and Guyana. **Fire**. 2019, 2, 39. <http://dx.doi.org/10.3390/fire2030039> .
26. Hopkins, B. Ecological processes at the forest-savanna boundary. In: Furley, P. A.; Proctor, J.; Ratter, J. A. (ed.). **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries**. London: **Chapman & Hall**, 1992, p.21-33. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
27. Rezende AV.; Vale, A.T.; Sanquetta CR.; Figueiredo Filho A.; Felfli J.M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Sci For**. 2006, 71:65–76. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
28. Sanquetta, CR Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, CR et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [sn]. 2002, p. 119-140. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
29. Felfili, JM.; Carvalho, FA.; Haidar, RF. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**. Brasília, 2005. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
30. Granado, L.M.A. **Estimativa de biomassa e combustível em diferentes fitofisionomias do Cerrado** / Larissa Moreira Alves Granado -- Brasília - DF, 2019. 71p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia -Universidade de Brasília - UnB. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
31. Koppen, W. **Climatología: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica. México. 1948, 479p. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
32. Nimer, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
33. Haridasan, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Braz. J. Plant Physiol**. 2008,20, 183–195. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003> .
34. Santos, G.L.; Pereira, MG.; Delgado, RC.; Torres, J.L.R. Regeneração Natural em Ambientes Antropogênicos Devido ao Uso Agrícola no Cerrado, Uberaba, Mg, Brasil. **Revista Biociências**. 2017,v. 1, pág. 169-U263. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n1a2017-35036> .
35. Felfili, J.M.; Rezende, A.V.; Júnior, M.C.D.S.; Silva, M.A. Changes in the floristic composition of cerrado sensu stricto in Brazil over a nine-year period. **J. Trop. Ecol**. 2000, 16, 579–590. <https://doi.org/10.1017/S0266467400001589> .
36. Azevedo, G.B. **Amostragem e modelagem da biomassa de raízes em um Cerrado sentido restrito no Distrito Federal**. Dissertação (estrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, 2014. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
37. Felfili, J.M.; Nogueira, P.E.; Silva Júnior, M.C.; Marimon, B.S.; Delitti, W.B.C. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa-MT. **Acta Bot Bras**. 2002, 16:103–112. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000100012> .

38. Felfili, J. M.; Rezende, R. P. Conceitos e métodos em fitossociologia. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. **Comunicações Técnicas Florestais**. 2003, v.5, n.1, p.1-68. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
39. Durigan, G. Estrutura e diversidade de florestas tropicais. In: SV Martins (organizador). **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil**. Editora UFV, Viçosa. 2009, pp. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
40. APG IV - Grupo de Filogenia de Angiospermas. Uma atualização da classificação do Grupo de Filogenia de Angiospermas para as ordens e famílias de plantas com flores: APG IV. **Revista Botânica da Sociedade Linneana**. 2016, v.181, p.1-20, . <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.
41. Forzza, R.C.; Baumgratz, J.F.A.; Bicudo, C.E.M.; Canhos, D.A.L.; Carvalho, Jr. A.A.; Costa, A.; Costa, D.P.; Hopkins, M.; Leitman, P.M.; Lohmann, L.G.; NicLughadha, E.; Maia, L.C.; Martinelli, G.; Menezes, M.; Morim, M.P.; Coelho, M.A.N.; Peixoto, A.L.; Pirani, J.R.; Prado, J.; Queiroz, L.P.; Souza, S.; Souza, V.C.; Stehmann, J.R.; Sylvestre, L.S.; Walter, B.M.T.; Zappi, D. New Brazilian floristic list highlights conservation challenges. **BioScience**. 2012, 62: 39-45. <http://dx.doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.8>.
42. Shannon, C. E.; Weaver, W. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949. <https://scholar.google.com/scholar>.
43. Pielou, E.C. 1975. **Ecological Diversity**. Wiley Interscience, New York. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
44. Lamprecht, H. Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e específicas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Rossdorf: República Federal da Alemanha: Dt. Gés. Para Tecnologia. Zusammenarbeit; 1990. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
45. Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. **Objetivos e métodos de ecologia da vegetação**. Nova Jersey: The Blackburn Press. 2002, 547p. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
46. Kent, M.; Coker, P. Descrição da vegetação: uma abordagem prática. Belhaven Press, Londres. 1992, 363p. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
47. IPCC (2006) Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
48. Dixon, P. Vegan, a package of R functions for community ecology. *J. Veg.* **2003**, Sci. 14, 927–930. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02228.x>.
49. Legendre, P. Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis. *J. Plant Ecol.* **2008**, 1, 3–8. [https://doi.org/10.1093/\\_jpe/rtm001](https://doi.org/10.1093/_jpe/rtm001).
50. R Core Team, 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 3.6.2). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

51. Klink, C.A.; Machado, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conserv. Biol.** 2005, 19, 707–713. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.
52. Dantas, J.S. Relação solo-paisagem e predição da erodibilidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros no Estado do Maranhão. Tese (Programa de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2013, Jaboticabal, SP. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
53. Souchie, F.F.; Pinto, J.R.R.; Lenza, E.; Gomes, L.; Maracahipes-Santos, L., Silvério, D.V. Post-fire resprouting strategies of woody vegetation in the Brazilian savanna. *Acta Bot. Brasilica.* 2017, 31, 260–266. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0376> .
54. Lopes, E. R. N.; Silva, A. P. P. S.; Peruchi, J. F. Zoneamento de risco de incêndio e queimadas no município de Sorocaba - São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo - SP.** v. 36, 2018. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
55. Goldenberg, R.; Baumgratz, J.F.A.; Souza, M.L.D.E.R. Taxonomia de Melastomataceae no Brasil: retrospectiva, perspectivas e chave de identificação para os gêneros. *Rodriguésia.* 2012, 63(1): 145-161. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602012000100011> .
56. Medeiros, M.B. . Efeitos do fogo nos padrões de rebrotamento em plantas lenhosas, em campo sujo, após queimadas prescritas. Universidade de Brasília. 2002. Tese. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
57. Hoffmann, W.A.; Moreira, A. The role of fire in population dynamics of woody plants. IN: Oliveira, P.S., Marquis, R.S. (EDS.), *Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna: The cerrados of Brazil.* The University of Columbia Press, New York, 2002. pp. 159-177. <https://doi.org/10.7312/oliv12042-008> .
58. Felfili, J.M. Dynamics of the natural regeneration in the Gama gallery forest in central Brazil. *For. Ecol. Manag.* 1997, 91, 235–245. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03862-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03862-5).
59. Oliveira, P.T.S.; Leite, M.B.; Mattos, T.; Nearing, M.A.; Scott, R.L.; Oliveira Xavier, R.; Silva Matos, D.M.; Wendland, E. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian cerrado. *Ecohydrology.* 2017, 10, e1759, <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1759>.
60. Hoffmann, W.A. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology.* 1999, 80, 1354–1369. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1354:FAPDOW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1354:FAPDOW]2.0.CO;2).
61. Vale, A. T. do.; Elias, P. S. Nível de proteção térmica da casca de quatro espécies lenhosas e a relação da arquitetura da casca com a transferência de calor. *Ciência Florestal.* 2014. 24(4), 979–987. <https://doi.org/10.1590/1980-509820142404017>.
62. Salgado-Labouriau, M. L.; Ferraz-Vicentini, K. R. Fire in the Cerrado 32.000 years ago. *Current Research in the Pleistocene,* v. 11, p. 85-87, 1994. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
63. Lima, D. C. de. Castro, A.; B.; Lima, a. P; Magnusson, W. E.; Landeiro, V.L.; Fadini, R.; F. Influência do regime de queimadas sobre a riqueza e composição florística de uma savana isolada na Amazônia - PELD Oeste do Pará. *Oecologia Australis, Austrália.* 2020, 24(2):301-316, <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2402.06>.



64. Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, S. M.; Haridasan, M.; Moraes, H. C. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: Aguiar, L. M. S.; Camargo, A. J. A. (Ed.). Cerrado: ecologia e caracterização. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p. 69–123. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
65. Pivello, V.R. Fire management for biological conservation in the Brazilian cerrado. In: Mistry, J., Berardi, A. (Eds.), Savannas and Dry Forests. Routledge, Abingdon-on-Thames. 2017, pp. 141–166, <https://doi.org/10.4324/9781315243788>.
66. Pivello, V. R., . The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. Fire Ecology. 2011, 7, p. 24-39. Disponível em: <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024> .
67. Bowman, D.M.J.S.; Murphy, B.P.; Boer, M.M.; Bradstock, R.A.; Cary, G.J.; Cochrane, M.A.; Fensham, R.J.; Krawchuk, M.A.; Price, O.F.; Williams, R.J.; . Forest fire management, climate change, and the risk of catastrophic carbon losses. Front. Ecol. Environ. 2013, 11, 66–68. <https://doi.org/10.1890/13.WB.005> .
68. Bond, W.J.; Archibald, S. Confronting complexity: fire policy choices in South African savanna parks. Int. J. Wildland Fire. 2003,12, 381–389. <https://doi.org/10.1071/WF03024>.
69. Batista, E.K.L.; Russell-smith, J.; França, H.; Figueira, J.E.C. An evaluation of contemporary savanna fire regimes in the Canastra national Park, Brazil: outcomes of fire suppression policies. J. Environ. Manage. 2018, 205, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.053> .
70. Fidelis, A.; Alvarado, S. T.; Barradas, A. C. S.; Pivello, V. R. . The year 2017: Megafires and management in the Cerrado. Fire. 2018, 1(3), 49. <https://doi.org/10.3390/fire1030049> .
71. Ramos, P. C. M. Sistema nacional de prevenção e combate aos incêndios florestais. In: Fórum Nacional Sobre Incêndios Florestais, 1., 1995, Piracicaba. Anais. Piracicaba: IPEF, 1995. P. 29-58. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
72. Durigan, G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. Flora. 2020, 268. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151612> .
73. Abreu, R.C.R.; Hoffmann, W.A.; Vasconcelos, H.L.; Pilon, N.A.; Rossatto, D.R.; Durigan, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. Sci.Adv. 2017, 3, e1701284. <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1701284>.
74. Durigan, G.; Leitão Filho, H.F; Rodrigues, R.R. Fitossociologia e estenose de uma vegetação de cerrado frequentemente queimada no Sudeste do Brasil. Flora, 1994. 189, 153–160, [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30582-0](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30582-0).
75. Kauffman, J.B.; Cummings, D.L.; Ward, D.E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. J. Ecol. 1994, 82. 519–531. <http://dx.doi.org/10.2307/2261261> .
76. Koch, A.; Brierley, C.; Maslin, M.M.; Lewis, S.L. Impactos no sistema terrestre da chegada europeia e da Grande Morte nas Américas após 1492. Quat. Ciência. 2019, Apocalipse 207, 13–36. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.12.00>.

77. Almeida, M.A. Modelagem da propagação do fogo como ferramenta de auxílio à tomada de decisão no combate e prevenção de incêndios no Parque Nacional das Emas, GO. Tese, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. **2012**. São José dos Campos. <https://scholar.google.com.br/scholar>.
78. Lopes, J. F. B.; Lobato, E. M. A.; Oliveira, F. A.; Palácio, H. A. Q.; Arraes, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. Revista Agro@ambiente On-line, Boa Vista. **2009**, v. 3, n. 2, p. 72-79, . <https://scholar.google.com.br/scholar> .
79. Moreira, A. G. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. J Biogeogr. **2000**, 27:1021–1029, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00422.x> .
80. Fiedler, N.C.; Azevedo, I.N.; Rezende, A.V.; Medeiros, M.B.; Venturoli, F. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado sensu stricto na Fazenda Água Limpa-DF. Rev. Árvore. **2004**, 28, 129–138, <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000100017> .
81. Libano, A.M.; Felfili, M.J. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos. Acta Bot. Bras. **2006**, 20, 927–936, <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000400016> .
82. Roitman, I.; Bustamante, M. M. C.; Haidar, R. F.; Shimbo, J. Z.; Abdala, G. C.; Eiten, G.; Fagg, C. W.; Felfili, M. C. Felfili, J. M.; Jacobson, R. K. B.; Lindoso, G. S.; Keller, M.; Lenza, E.; Miranda, S. C.; Pinto, J. R. R.; Rodrigues, A. A.; Delitti, W. B. C.; Roitman, P. Sampaio, J. m. Optimizing biomass estimates of savanna woodland at different spatial scales in the Brazilian Cerrado: Re-evaluating allometric equations and environmental influences. PLoS ONE, v. 13, n. 3. **2018**, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196742>.
83. Ribeiro, M. C.; Metzger, J. P.; Martensen, A. C.; Ponzoni, F. J.; Hirota, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. Biological conservation, **2009**. 142(6):1141-1153, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021> .
84. Bernhardt-Römermann, M.; Baeten, L.; Craven, D.; Frenne, P. De.; Hedl, R.; Lenoir, J.; Bert, D.; Brunet, J.; Chudomelová, M.; Decocq, G.; Dierschke, H.; Dirnbock, T.; Dörfler, I.; Heinken, T.; Hermy, m.; Hommel, P.; Jaroszewicz, B.; Keczyński, A.; Kelly, D. L.; Kirby, K. J.; Kopecký, M.; Macek, M.; Máliš, F.; Mirtl, M.; Mitchell, F. J. G.; Naaf, T.; Newman, N.; Dierschke, G.; Petřík, Petr.; Schmidt, W.; Standovár, T.; Tóth, Z.; Calster, H. V.; Verstraeten, G.; Vladovič, J.; Vild, O.; Wulf, M.; Verheyen, K. Os impulsionadores das mudanças temporais na diversidade de plantas das florestas temperadas variam entre as escalas espaciais. Globo. Alterar Biol. **2015**, 21, 3726–3737, <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12993> .
85. Altomare, M.; Vasconcelos, H.L.; Raymundo, D.; Lopes, S.; Vale, V.; Prado-Júnior, J. Avaliação da resiliência ao fogo do componente arbóreo da savana através de uma abordagem funcional. Acta Oecol. **2021**, 111, 103728, <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2021.103728> .
86. Sato, N.M. Mortalidade de plantas do cerrado submetidas a diferentes regimes de queima. Universidade de Brasilia. **1996**, Dissertação. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
87. Ramos-Neto, M.B.; Pivello, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. Environmental Management, **2000**. 26(6): 675-684. <https://doi.org/10.1007/s002670010124> .

88. Bond, W.J.; Keeley, J.E. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*. **2005**, 20(7): 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025> .
89. Pausas, J.G.; Poorter, L. Bark thickness and fire regime. *Funct. Ecol.* **2015**, 29 (3), 315–327. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
90. Araújo, F.D.C.; Tng, D.Y.P.; Apágaua, D.M.G.; Coelho, P.A.; Pereira, D.G.S.; Santos, R.M. Post-fire plant regeneration across a closed forest-savanna vegetation transition. *For. Ecol. Manage.* **2017**, 400, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.058> .
91. Souza, C.R; Coelho De Souza, F.; Maia, V.A.; Aguiar-Campos, N.; Coelho, P.A.; Farrapo, C.L.; Santos, A.B.M.; Araújo, F.C.; Gianasi, F.M.; Paula, G.G.P.; Morel, J.D.; Fagundes, N.C.A.; Garcia, P.O.; Santos, P.F.; Silva, W.B.; Fontes, M.A.L.; Santos, R.M. Tropical forests structure and diversity: a comparison of methodological choices. *Methods Ecol. Evol.* **2021**. 12, 2017–2027. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13670>.
92. Luke, R.; McArthur, A. *Bushfire in Australia*. Australian Government Publishing Service, **1978**, Canberra. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
93. Maracahipes, L.; Marimon, B.S.; Lenza, E.; Marimon-Júnior, B. H.; Oliveira, E. A.; Mews, H. A.; Gomes, L.; Feldpausch, T. R. Post-fire dynamics of woody vegetation in seasonally flooded forests (impucas) in the Cerrado-Amazonian Forest transition zone. *Flora: Morphol. Distrib. Funct. Ecol. Plants*. **2014**, 209, 260–270, <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2014.02.008>.
94. Silveira, F.A.O.; Ordóñez-Parra, C.A.; Moura, L.C.; Schmidt, I.B.; Andersen, A.N.; Bond, W.; Buisson, E.; Durigan, G.; Fidelis, A.; Oliveira, R.S.; Parr, C.; Rowland, L.; Veldman, J.W.; Pennington, R.T. Biome awareness disparity is BAD for tropical ecosystem conservation and restoration. *J. Appl. Ecol.* **2021**. 1–9. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14060>.
95. Pausas, J.G.; Keeley, J.E. Wildfires and global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*. **2021**, 9 pp.10.1002/fee.2359 <https://doi.org/10.1002/fee.2359>.
96. Haggmann, R.K.; Hessburg, P.F.; Haggmann, R.K.; Hessburg, P.F.; Salter, R.B.; Merschel, A.G.; Reilly, M.J. Contemporary wildfires further degrade resistance and resilience of fire-excluded forests *Forest Ecology and Management*. **2022**, 506 119975. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119975> .
97. Hessburg, P.F.; Miller, C.L.; Povak, N.A.; Taylor, A.H.; Higuera, P.E.; Prichard, S.J.; North, M.P.; Collins, B.M.; Hurteau, M.D.; Larson, A.J.; Allen, C.D.; Stephens, S.L.; Huerta, H.R.; Rumann, C.S.; Daniels, L.D.; Gedalof, Z.; Gray, R.W.; Kane, V.R.; Churchill, D.J.; Haggmann, R.K.; Spies, T.A.; Parks, S.A.; Cansler, C.A.; Belote, R.T.; Veblen, T.T.; Battaglia, M.A.; Hoffman, C.; Skinner, C.N.; Safford, H.D. Climate, environment, and disturbance history govern resilience of western North American forests. *Front. Ecol. Evol.* **2019**, 7, 239. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00239>.
98. Hessburg, P.F.; Spies, T.A.; Perry, D.A.; Skinner, C. N.; Taylor, A.H.; Brown, P.M.; Stephens, S.L.; Larson, A.J.; Churchill, D.J.; Povak, N.A.; Singleton, P.H.; McComb, B.; Zielinski, W.J.; Collins, B.M.; Salter, R.B.; Keane, J.J.; Franklin, J.F.; Riegel, G. . Tamm Review: Management of mixed-severity fire regime forests in Oregon, Washington, and Northern California. *For. Ecol. Manage.* **2016**, 366, 221–250. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.034>.

99. Flores, C.; Bounds, D.L.; Ruby, D.E.; Does prescribed fire benefit wetland vegetation? *Wetlands*. **2011**, 31, 35–44.. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0131-x> .
100. Aka, G.M.; Elogne, C. P.; Irie, C. Zo-bi.; Bienvenu H.K.; Amani, V. V. D. M.; Bruno H. Life after fire - Long-term responses of 20 timber species in semi-deciduous forests of West Africa. *Forest Ecology and Management*. **2023**, 538. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120977>.
101. Lal, R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. **2008**, B, v.363, p.815-830. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185> .
102. Grace, J. José, S. J.; Meir P.; Miranda, H. S.; Montes, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography*, 2006. v. 33, p. 387–400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01448.x> .
103. Bustamante, M. M. C.; Oliveira, E. L. Impacto das atividades agrícolas, florestais e pecuárias nos recursos naturais. In: Faleiro, F. G.; Farias Neto, A. L. (ed). *Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, **2008**. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
104. Houghton, R.A.; Hall, F.; Goetz, S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle. *J. Geophys. Res.* **2009**, 114 G00E03. <https://doi.org/10.1029/2009JG000935>.
105. Paiva, A. O.; Rezende, A. V.; Pereira, R. S. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal. *Revista Árvore*. **2011**, v. 35, n. 3, p. 527–538. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300015>.
106. Bastin, J-F.; Berrahmouni, N.; Grainger, A.; Maniatis, D.; Mollicone, D.; Moore, R.; Patriarca, C.; Picard, N.; Sparrow, B.; Abraham, E.M.; Aloui, K.; Atesoglu, A.; Attore, F.; Bassüllü, Ç.; Bey, A.; Garzuglia, M.; García-Montero, L.G.; Groot, N.; Guerin, G.; Laestadius, L.; Lowe, A.J.; Mamane, B.; Marchi, G.; Patterson, P.; Rezende, M.; Ricci, S.; Salcedo, I.; Diaz, A.S.-P.; Stolle, F.; Surappaeva, V.; Castro, R. The extent of forest in dryland biomes. *Science*. **2017**, 356, 635–638. <http://dx.doi.org/10.1126/science>. Aam 6527
107. Zhou, Y.; Singh, J.; Butnor, J. R.; Coetsee, C.; Boucher, P. B.; Case, M. F.; Hockridge, E.G.; Davies, A. B.; Staver, A.C. Limited increases in savanna carbon stocks over decades of fire suppression. *Nature*. **2022**. 603, 445–449. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04438-1>.
108. Poorter, L.; Van Der Sande, M.T.; Thompson, J.; Arets, E.J.M.M.; Alarcón, A.; Álvarez-Sánchez, J.; Ascarrunz, N.; Balvanera, P.; Barajas-guzmán, G.; Boit, A.; Bongers, F.; Carvalho, F.A.; Casanoves, F.; Cornejo-Tenorio, G.; Costa, F.R.C.; De Castilho, C.V.; Duivenvoorden, J.F.; Dutrieux, L.P.; Enquist, B.J.; Fernández-Méndez, F.; Finegan, B.; Gormley, L.H.L.; Healey, J.R.; Hoosbeek, M.R.; Ibarra-Manríquez, G.; Junqueira, A.B.; Levis, C.; Licona, J.C.; Lisboa, L.S.; Magnusson, W.E.; Martínez-Ramos, M.; Martínez-Yrizar, A.; Martorano, L.G.; Maskell, L.C.; Mazzei L.; Mave, J.A.; Mora F.; Muñoz, R.; Nytech, C.; Pansonato, M.P.; Parr, T.W.; Paz, H.; Pérez-García, E.A.; Rentería, L.Y.; Rodríguez-Velazquez, J.; Rozendaal, D.M.A.; Ruschel, A.R.; Sakschewski, B.; Salgado-Negret, B.; Schiatti, J.; Simões, M.; Sinclair, F.L.; Souza, P.F.; Souza, F.C.; Stropp, J.; Ter Steege, H.; Swenson, N.G.; Thonicke, K.; Toledo, M.; Uriarte, M.; Van Der Hout, P.; Walker, P.; Zamora, N.; Peña-Claros, M. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **2015**, 24, 1314–1328. <https://doi.org/10.1111/geb.12364>.
109. Piponiot, C., Derroire, G.; Descroix, L.; Mazzei, L.; Rutishauser, E.; Sist, P.; Hérault, B. Avaliando a recuperação do volume de madeira após perturbação em florestas tropicais – Uma nova estrutura de modelagem. *Eco. Modelo*. 2018, 384, pp. 353-369 , [10.1016/j.ecolmodel.2018.05.02](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.05.02).

- 110.** Chaves, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Folster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.P.; Nelson, B.W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 2005, 145, 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x> .
- 111.** Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M.; França, M.B.; & Oliveira, A.C.A. Tree height in Brazil’s “arc of deforestation”: shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecol. Manag.* **2008**, 255:2963-2972. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.002>.
- 112.** Alves, R.J.V.; & Kolbek, J. Can campo rupestre vegetation be floristically delimited based on vascular plant genera?. *Plant Ecol.* **2010**, 207, 67–79. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9654-8>
- 113.** Morandi, P. S.; Marimon, B. S.; Marimon-Júnior, B. H.; Ratter, J. A.; Feldpausch, T. R.; Colli, G. R.; Munhoz, C. B. R.; Júnior, M. C. Da S.; Lima, E. De S.; Haidar, R. F.; Arroyo, L.; Murakami, A. A.; Aquino, F. De G.; Walter, B. M. T.; Ribeiro, J. F. R.; Françoso, R.; Elias, F.; Oliveira, De A.; Reis, S. M.; Oliveira, B. De.; Das Neves, E. C.; Nogueira, D. S.; Lima, H. S.; De Carvalho, T. P.; Rodrigues, S. A.. Villarroel, D.; Felfili, J. M.; Phillips, O. L. Tree diversity and above-ground biomass in the South America Cerrado biome and their conservation implications. *Biodiversity and Conservation*, **2018**. v. On-line, pág. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1589-8>

### 3. CAPÍTULO 2

#### **Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira de cerrado sentido restrito com diferentes históricos de fogo.**

##### **RESUMO**

Áreas de ambientes de cerrado são locais com consideráveis atributos químicos de nutrientes, além de possuírem elevada quantidade de biomassa, resultam em excelentes fontes de armazenamento e estocagem de carbono. Este estudo teve como objetivo avaliar o estoque de nutrientes no solo e na serapilheira existente, em três áreas de cerrado sentido restrito, com e sem ocorrência de fogo, sendo: área 1, com fogo anual, por meio de aceiros negros, seguindo planos de manejos integrados do fogo; área 2, com registro de fogo há 15 anos, e, área 3, com última ocorrência de fogo, há 30 anos, na Fazenda Água Limpa, da Universidade de Brasília, Vargem Bonita, no Distrito Federal. Nas três áreas foram sorteadas cinco parcelas de 20 x 50 m. As coletas de biomassa foram realizadas de duas maneiras: com o uso de um gabarito quadrático, em cinco pontos e através de coletores instalados nas diagonais de cada parcela, que se destacaram com maior quantidade de material combustível, a coleta com o gabarito quadrático. As amostras de solo foram realizadas em cinco níveis do solo: 0 - 25 cm, 25 - 50 cm 50 - 75 cm e 75 - 100 cm, sendo coletadas em 3 locais dentro de cada parcela, totalizando 12 amostras por parcela nos quatro perfis de solo e 60 amostras por cada tratamento, onde se destacou o tratamento com fogo anual para todos os perfis coletados. Os resultados indicaram maiores valores de carbono orgânico do solo (1,5%) e nitrogênio total do solo (0,15%), para o tratamento de fogo anual, seguido dos tratamentos sem fogo há 15 anos e 30 anos sem fogo. Tendo ocorrido variação na primeira profundidade para os dois nutrientes avaliados em percentuais mínimo e máximo, 0,04 a 0,14, para nitrogênio e 0,04 a 1,55% para carbono orgânico total. As variáveis químicas do solo, carbono orgânico total, nitrogênio total, capacidade de troca catiônica, pH, fósforo disponível, potássio e alumínio, também foram analisadas através de uma PCA (Análise de componentes principais), explicando 66,57% da variação total, tendo PC1, 48,15% e PC2 18,42% das variações existentes. Pode-se concluir que o fogo altera positivamente a quantidade de nutrientes do solo onde ocorre e influencia a quantidade de material combustível onde incide com frequência.

**Palavras-chave:** atributos químicos, serapilheira, solos florestais.

## ABSTRACT

Areas of cerrado environments are places with considerable chemical attributes of nutrients, in addition to having a high amount of biomass, they result in excellent sources of carbon storage and storage. This study aimed to evaluate the nutrient stock in the soil and existing litter, in three areas of restricted cerrado, with and without the occurrence of fire, being: area 1, with annual fire, through black firebreaks, following management plans. integrated fire management; area 2, with a fire record 15 years ago, and area 3, with the last fire occurrence, 30 years ago, at Fazenda Água Limpa, at the University of Brasília, Vargem Bonita, in the Federal District. In the three areas, five plots measuring 20 x 50 m were drawn. Biomass collections were carried out in two ways: using a quadratic template, at five points and through collectors installed on the diagonals of each plot, which stood out with a greater quantity of combustible material, collection with the quadratic template. Soil samples were taken at five soil levels: 0 - 25 cm, 25 - 50 cm 50 - 75 cm and 75 - 100 cm, being collected in 3 locations within each plot, totaling 12 samples per plot in the four soil profiles. soil and 60 samples for each treatment, where the treatment with annual fire stood out for all profiles collected. The results indicated higher values of soil organic carbon (1.5%) and total soil nitrogen (0.15%) for the annual fire treatment, followed by treatments without fire for 15 years and 30 years without fire. There was variation in the first depth for the two nutrients evaluated in minimum and maximum percentages, 0.04 to 0.14, for nitrogen and 0.04 to 1.55% for total organic carbon. The soil chemical variables, total organic carbon, total nitrogen, cation exchange capacity, pH, available phosphorus, potassium and aluminum, were also analyzed through a PCA (Principal Component Analysis), explaining 66.57% of the total variation, with PC1, 48.15% and PC2 18.42% of the existing variations. It can be concluded that fire positively changes the amount of nutrients in the soil where it occurs and influences the amount of combustible material where it frequently occurs.

**Key-words:** chemical attributes, litter, forest soils.

### 3.1. INTRODUÇÃO

No Brasil os diferentes usos dos solos têm alterado as paisagens e as fitofisionomias naturais existentes. Nessas regiões distribuídas irregularmente, há o cerrado, ocupando aproximadamente 2,033,601 de Km<sup>2</sup> (ANACHE et al., 2018). Localizado em 10 estados brasileiros, e ocupando cerca de 20% de sua área original. Nessas áreas existem modificações resultantes de diferentes usos dos solos e avançado processo de degradação ambiental, com intensivas atividades antrópicas, alterando as condições físicas, químicas e biológicas do solo, interferindo nos processos de ciclagem de nutrientes, e consequentemente nos ciclos naturais, delongando a recuperação, regeneração das florestas e as taxas de resistência e resiliência (CHAZDON, 2016).

Paralelo a essas transformações, os solos do cerrado são considerados de baixa fertilidade com altos teores de acidez (RESENDE et al., 2007). Pesquisas sobre os fatores constituintes e condicionantes edáficos desses ambientes têm procurado enfatizar sobre as alterações e os resultados dessas intervenções para os processos produtivos e implicações nos serviços ecossistêmicos (BÜNEMANN et al., 2018), além de aumentar informações sobre a importância e conservação do suporte da cobertura vegetal (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). Superficialmente o solo é formado pela serapilheira, composta por um mosaico de folhas, galhos, órgãos reprodutivos, que é parte fundamental do equilíbrio ecológico e dinâmico dos ecossistemas florestais (COSTA, 2010). O conjunto desses compostos exercem a função de restauração da fertilidade dos solos, pela reposição e retorno dos nutrientes para o solo e da matéria orgânica acumulada (EWEL, 1976).

A serapilheira tem efeito nos ciclos hidrológicos, exerce funções de isolante térmico, retentor e armazenador de água, atenuador dos efeitos erosivos (OLSON, 1963; SANTOS, 2017; SILVA, 2016). É essencial no funcionamento dos ecossistemas florestais, comprovado pela mensuração da matéria orgânica e nutrientes da vegetação existentes (MARTINS et al., 2020). As respostas dos fluxos e influxos via aporte de serapilheira, denominada ciclagem de nutrientes, são primordiais para o ciclo de transferência de nutrientes aos solos (SCHUMACHER et. al., 2013, ZAGO et al., 2020).

Nesse sentido, a conservação dos solos, envolve equitativamente a manutenção da serapilheira, componente vital para o desenvolvimento da vegetação, visto que, nas florestas, esse material acumulado é influenciado pelas características específicas de cada ambiente, variáveis climatológicas, como temperatura, vento, umidade, precipitação, entretanto as maiores variações ocorrem pelas modificações do uso dos solos, especialmente o fogo.

Em estudos sobre o material combustível, há que se considerar um dos maiores agentes modificadores, o fogo, que transverte a estrutura natural da floresta, induz os parâmetros estruturais da comunidade, modificando a composição florística analogamente a riqueza e distribuição e densidade arbóreas, os índices de recrutamento (COCHRANE; SCHULZE, 1999, COCHRANE, 2004; LIMA et al., 2009). Nas savanas brasileiras, o fogo ocorre há milhares de anos (DURIGAN, 2020) estabelecendo



padrões estruturais e de funcionamento desses ambientes (SIMON et al., 2009). Contudo, as mudanças ocorridas pós fogo, não se limitam ao número de indivíduos existentes, ou a disposição nas áreas, está ligada ao crescimento de cada espécie (LOPES et al., 2009), aos paradigmas nutricionais dos solos, em que a biomassa vegetal, é a principal fonte de reserva e que fazem parte dos processos de ciclagem de nutrientes (INKOTTE, 2019).

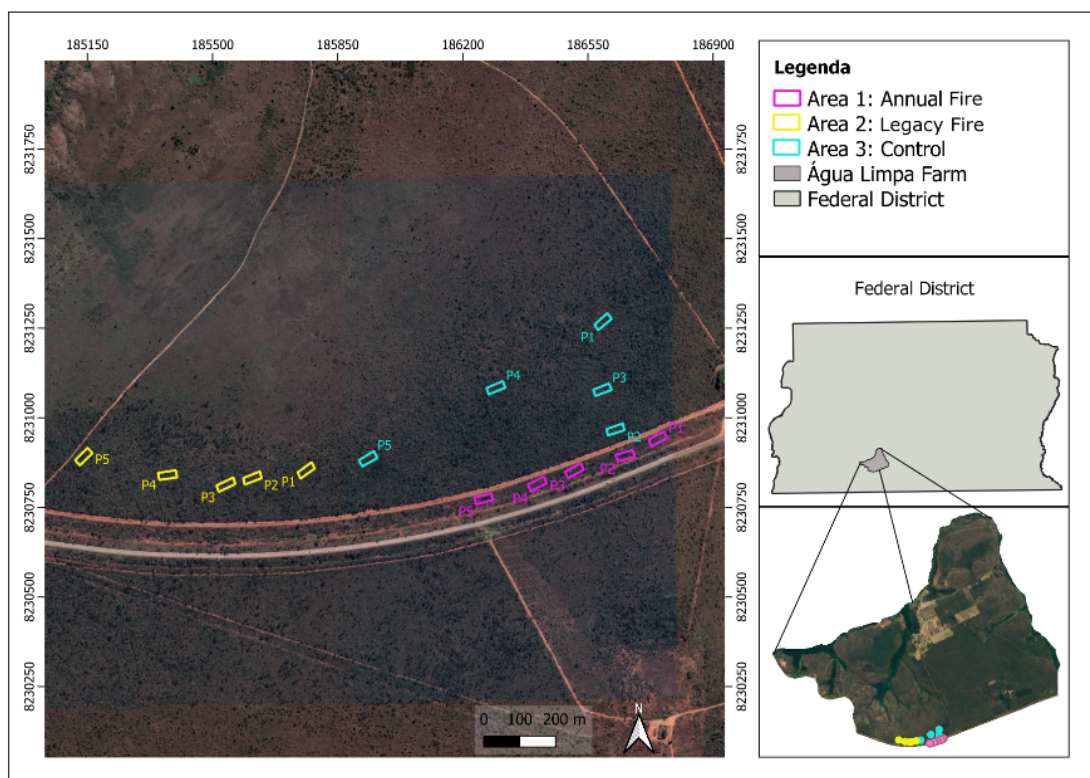
Portanto, analisar os componentes envolvidos nesse processo, desde a quantificação e identificação da serapilheira, avaliando e comparando os índices nutricionais edáficos em cada área, ocorridos através da decomposição deste (DJUKIC et al., 2018), é indispensável para conservação dos solos (ANACHE et al., 2018).

### **3.2. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos do fogo na serapilheira, nos parâmetros do solo e avaliar recursos edáficos e vegetais em três áreas de cerrado sentido restrito: uma com registro de fogo anualmente (aceiro negro), uma com registro de fogo há 15 anos e a uma área com registro de ocorrência de fogo há 30 anos.

### **3.3. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (UnB), no Distrito Federal, Brasil, com aproximadamente 4.340 hectares totais, nas seguintes coordenadas: (15° 56' - 15° 59' S e 47° 55' - 47° 58' W; entre 1.048 m e 1.150 m de elevação). Os ambientes escolhidos foram três áreas em cerrado sentido restrito na fazenda, distribuídos em cerca de 1480 ha. Além disso, adjacentes à fazenda, há áreas de reserva e preservação, como a área de Proteção Ambiental Gama e Cabeça-de-veado, Jardim Botânico de Brasília e Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O clima é classificado, de acordo com Koppen (1948), como Aw. Temperaturas médias de 12 a 28°C e pluviosidade média até 1.600 mm e umidade relativa entre 15 e 70%. Os solos das áreas são Latossolos-Vermelhos-Amarelos distróficos, ácidos, baixos índices de nutrientes (HARIDASAN, 2008). Para esta pesquisa, as áreas selecionadas na FAL foram: área com histórico de queima anual (A1); área com registro de fogo há 15 anos (A2); sem registro de ocorrência de fogo há 30 anos (A3- controle) (Figura 1).



**Figura 1.** Área com histórico de queima anual (A1); área com registro de fogo há 15 anos (A2); sem registro de ocorrência de fogo há 30 anos (A3- controle).

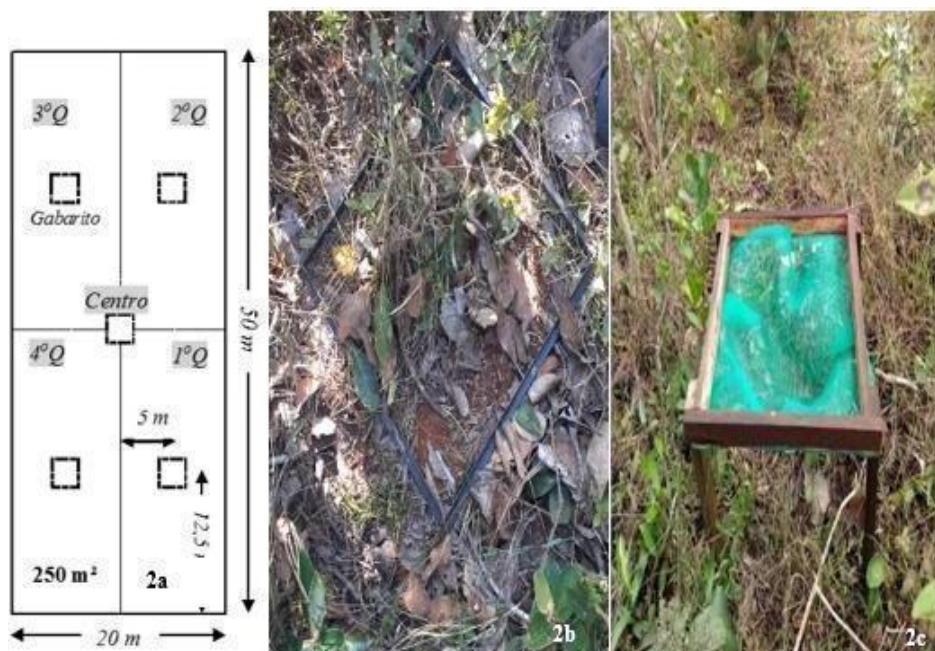
### 3.3.1. Delineamento amostral

Foram estabelecidas 15 parcelas com dimensões de 20 m x 50 m (0,1 ha), segundo protocolo de Felfili et al. (2000), distribuídas aleatoriamente em cada uma das três unidades amostrais referentes ao ambiente savânico (cinco parcelas de 0,1 ha/tratamento), totalizando 0,5 ha de área amostrada em cada tratamento.

### 3.3.2. Coletas de serapilheira

Para determinação da carga de combustível florestal presente nas unidades experimentais foram coletadas amostras na superfície do solo da serapilheira existente, com o auxílio de um gabarito quadrático de metal (0,50 m x 0,50 m), em cinco pontos para cada tratamento, por parcela (Figura 2a), sendo utilizada a distribuição sistematizada a cada 250 m<sup>2</sup> (1º, 2º, 3º e 4º quadrantes, e centro da parcela), totalizando 25 pontos de amostragem por tratamento. E segunda forma de coleta, foram utilizados coletores (Figura 2b) confeccionados em estrutura de madeira e tela de sombrite em sua área interna (dimensão de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m), distribuídos sistematicamente em cada parcela (limite inferior, meio e limite superior) no cerrado, totalizando 15 pontos de amostragem por tratamento.

O objetivo dessa coleta foi quantificar ( $\text{Mg. ha}^{-1}$ ) e qualificar a contribuição da queda de folhas e galhos da vegetação arbórea-arbustiva na carga total do material combustível superficial. As coletas ocorreram de forma diferente para cada método: a cada dois meses com o uso do gabarito e mensalmente pelo período de um ano, visando avaliar os efeitos do fogo no aporte de serapilheira.



**Figura 2.** Amostragem (a), coleta na superfície do solo (b) e coletores aéreos (c) para determinação da carga de material combustível superficial

### 3.3.3. Coletas e caracterização de atributos do solo

Os atributos físicos e químicos dos solos locais foram avaliados em cada um dos tratamentos dos três tratamentos, seguindo o modelo de amostragem apresentado na Figura 2a, e considerando as camadas de 0 a 25 cm, 25 a 50 cm, 50 a 75 cm e 75 a 100 cm. Em campo foram coletados solos para determinação: (a) do carbono orgânico total e (b) densidade do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) através do método do anel volumétrico de bordas cortantes (EMBRAPA, 1997). Essas amostras após a coleta foram identificadas e armazenadas em sacolas plásticas hermeticamente fechadas, para manutenção do teor de umidade de campo, e enviadas a um laboratório de solos para as análises nutricionais. As amostras deformadas de solos coletadas oriundas da mesma profundidade foram misturadas para a obtenção de uma amostra composta homogeneizada para cada parcela.

A figura 3 expõe os perfis do solo coletados nos tratamentos, realizado dois meses após o aceiro negro no tratamento 1 em sequência para os outros dois tratamentos.



**Figura 3.** Perfis do solo

Para cada amostra composta foram determinados os seguintes parâmetros químicos (EMBRAPA, 2017): (a) pH em H<sub>2</sub>O; acidez potencial (H+Al); fósforo disponível (P), cálcio trocável (Ca<sup>2+</sup>), magnésio trocável (Mg<sup>2+</sup>), potássio disponível (K), alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), sódio (Na) e enxofre (S); capacidade de troca de cátion a pH 7 (CTC); soma das bases (S); saturação por bases (V) e por alumínio (m); matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) pelo método Walkley e Black (1934). Para a determinação da densidade do solo (EMBRAPA, 1997), em gcm<sup>-3</sup>, em cada parcela e profundidade coletada, foram determinadas as massas das amostras em balança de precisão (0,01 g) para obtenção da massa úmida (g). Após serem secas em estufa à temperatura de 105 °C ± 2°C, até alcançarem massa constante, para determinação da massa seca (g). Foram realizadas coletas de solo nas profundidades, 0-25, 25-50, 50-75 e 75-100 cm, para avaliação de nitrogênio e carbono orgânico do solo.

A densidade do solo foi determinada pela equação 1.

$$D_s = M_s/V \quad (\text{equação 1})$$

em que,

$D_s$  = densidade do solo, em g.cm<sup>-3</sup>;  $M_s$  = massa seca do solo, em g; e

$V$  = volume do anel volumétrico (cm<sup>3</sup>).

Foram determinados também os parâmetros do solo, porosidade total (equação 2) e estoque de carbono (equação 3), esse último determinado conforme Usuga et al., (2010).

$$Pt = 1 - ((Ds/Dp) \times 100) \quad \text{(equação 2)}$$

em que,

Pt = porosidade total do solo, em %;

Ds = densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup>; e

Dp = densidade das partículas minerais do solo 2,65 g cm<sup>-3</sup>, segundo Elliot et al., 1999.

$$ECO = (CO \times Ds \times e)/1 \quad \text{(equação 3)}$$

em que,

ECO = estoque de carbono orgânico (Mg.ha<sup>-1</sup>);

CO = teor de carbono orgânico na camada de solo (g. kg<sup>-1</sup>);

Ds = densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup>; e

e = espessura da camada do solo, em cm.

Foram avaliados onze variáveis químicas do solo, de forma a sintetizar os resultados obtidos, sendo eles: carbono orgânico total, nitrogênio total, CTC, pH, P disponível, potássio e alumínio.

#### 3.3.4. Carga e teor de umidade do combustível superficial

Cada uma das amostras de material combustível coletadas (gabarito e coletores) nas parcelas amostrais foram pesadas em balança digital (precisão = 0,01g) para a obtenção do massa úmida, em gramas (g). Após foram transferidas para sacos de papel kraft e colocadas para secagem em estufa com circulação e renovação de ar à temperatura de 65 °C, até alcançarem peso constante. Após a secagem, foi determinado o do peso seco das mesmas (g). De posse da massa seca foi determinada a carga de combustível superficial (Mg.ha<sup>-1</sup>) de cada unidade amostral, bem como o teor de umidade (%) de campo (equação 4) de cada amostra no momento da coleta. Todo esse procedimento foi repetido para as 7 coletas totais do experimento.

$$U = ((Mu-Ms)/Ms) * 10 \quad \text{(equação 4)}$$

em que,

U = teor de umidade, em %;

Mu = massa úmida, em gramas; e

Ms = massa seca, em gramas.

### 3.3.5. Separação do combustível superficial por constituinte e classe diamétrica

Com o intuito de conhecer as diferentes frações da composição do material combustível, coletados com o gabarito e nos coletores na superfície do solo e seco em estufa, foi realizada uma triagem de classificação do tipo de material combustível constituinte: folhas, cascas, galhos, inflorescências, frutos, para aferir a contribuição na carga total, estimada por extrapolação em Mg. ha<sup>-1</sup>, e separado em classes diamétricas (0-70 cm; 0,71-2,50 cm; 2,51-7,0 cm; >7,0 cm; e miscelâneas) manualmente com o auxílio de peneiras com diferentes aberturas nominais. A classe miscelânea correspondeu a todo material no qual não foi separado nas demais classes de diâmetros (Figura 4).



**Figura 4.** Coleta serapilheira com gabarito (a); coleta de serapilheira com coletores (b); separação e classificação serapilheira (c).

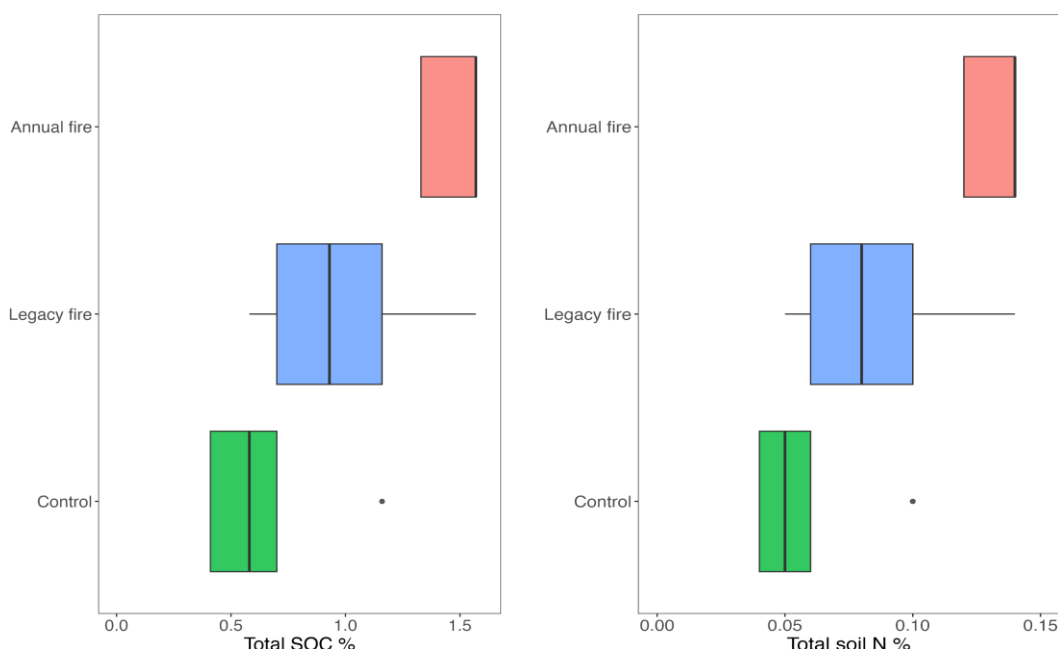
Para avaliação dos dados foi empregada uma análise de componentes principais (PCA) a fim de explorar a influência das condições/efeitos do fogo nos parâmetros químicos do solo, para diferenciar ou indicar similaridades entre as amostras coletadas nos 3 tratamentos (influência do fogo), nas diferentes profundidades em cada tratamento avaliado nesta pesquisa. Adotando a utilização de vetores como identificadores das principais variáveis responsáveis pelos agrupamentos amostrais.

### 3.4. RESULTADOS

#### 3.4.1. Efeitos do fogo na composição química do solo

Os resultados das análises de macro/micronutrientes estão expressos nas figuras 5, 6, 7 e 8. Com relação à textura, foram considerados de textura média a argilosa, alta saturação de alumínio, o que ressalta a importância da ciclagem de nutrientes para sobrevivência das espécies vegetativas neste ambiente (HARIDASAN, 2000). A condição destes solos possibilitam atuar como entrave, para proteção das frações de matéria orgânica do solo, coadjuvando com o estoque de carbono (LAL, 2007; NAIR et al., 2009).

Foram encontrados diferentes valores percentuais totais para os estoques de carbono e nitrogênio em todas as 15 parcelas dos três tratamentos, na área de cerrado senso restrito, destacando o tratamento com aceiro negro, com os maiores índices.

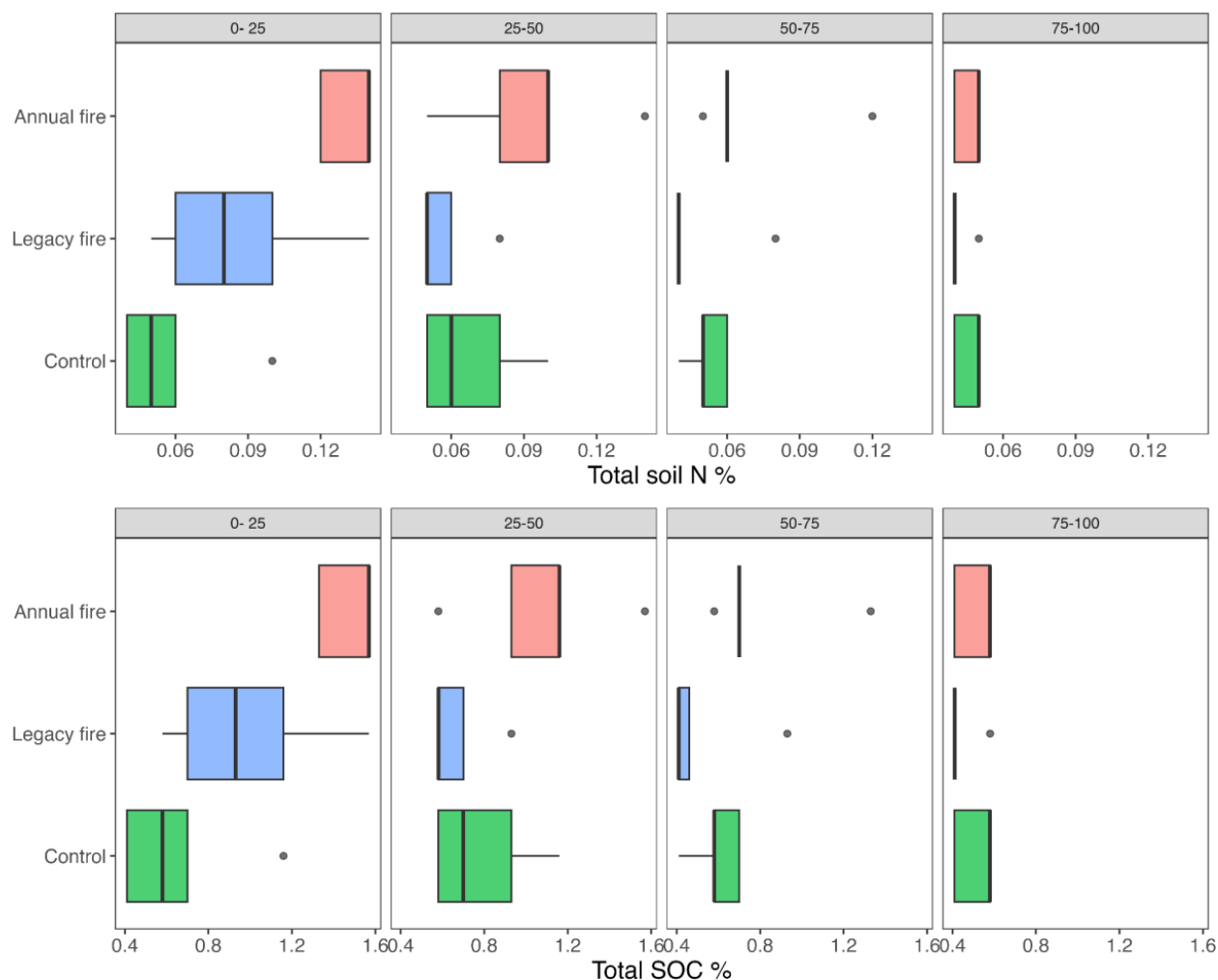


**Figura 5.** Concentração total de carbono orgânico (em %) e nitrogênio total do solo (em %) nas amostras coletadas nos tratamentos controle, fogo 15 anos e fogo anual.

Esta pesquisa sobre as implicações do fogo para os solos surpreendeu ao indicar maiores índices para área com fogo anual (1,5%) tanto para o carbono orgânico do solo quanto para o

nitrogênio total do solo (0,15%). As concentrações de nitrogênio total tendem a seguir o gradiente de carbono orgânico nos três tratamentos avaliados. Os resultados desses macronutrientes, carbono e nitrogênio, estão evidenciados nos boxplots, tendo as barras centrais como valores medianos das parcelas, e primeiro e terceiro quartis expressos por barras superiores e inferiores, valores máximos e mínimos são apresentados nas barras laterais fora das caixas. Pontos discrepantes estão presentes fora das caixas.

Para uma quantificação específica dos nutrientes avaliados existentes, foram realizadas coletas em profundidades diferentes, 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm e 75-100 cm, em três pontos das parcelas nos tratamentos.



**Figura 6.** Nitrogênio total do solo (em %) e carbono orgânico total do solo (em %), por profundidade amostrada (0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm e 75-100 cm), das amostras coletadas nos tratamentos controle, legado de fogo e fogo anual.

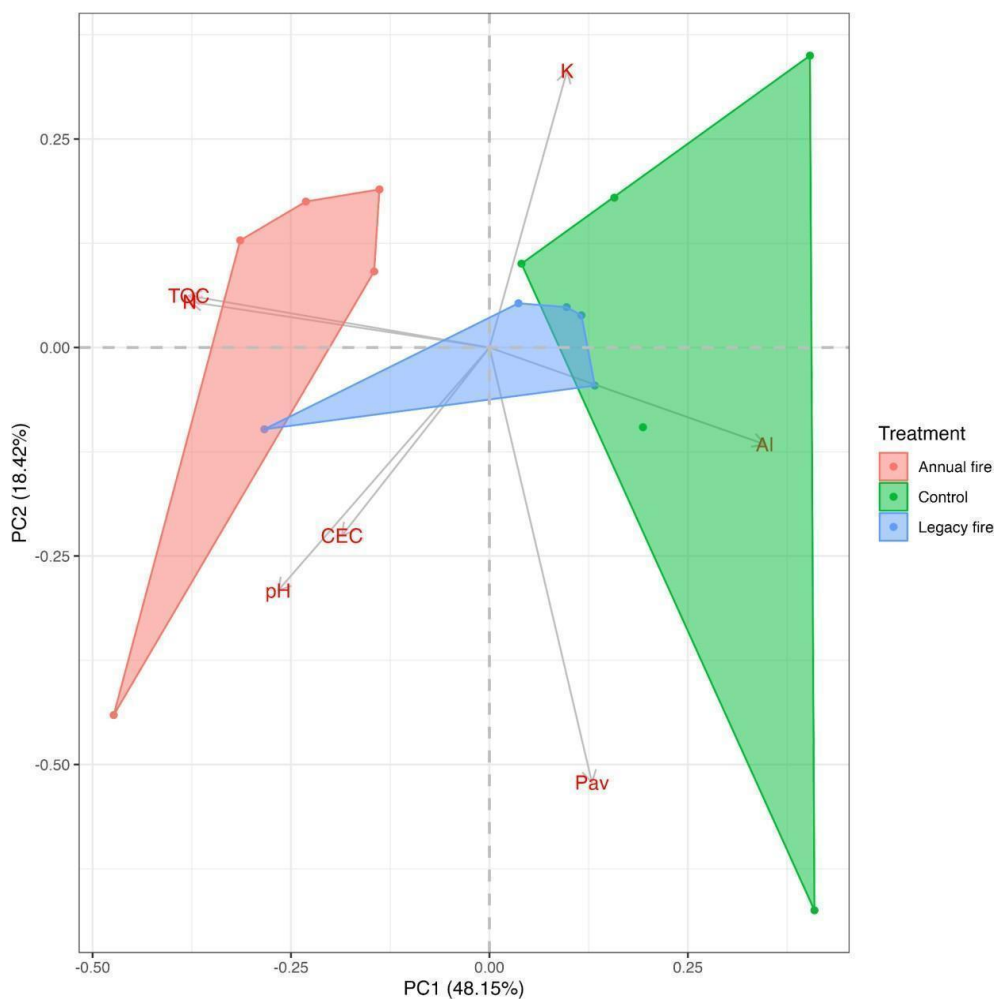
Ocorreram variações nos níveis de nitrogênio para percentuais significativos nos 4 perfis mensurados.

Ressaltando o tratamento com fogo anual, entre 0-50 cm, valores de 0,12 à 0,10 para as 5 parcelas nos dois primeiros perfis; o tratamento de fogo há 15 anos no primeiro perfil, variou de 0,8 a 1,2%; o tratamento controle, não excedeu 0,06% de nitrogênio. No segundo perfil, o



tratamento controle teve 0,08%, ultrapassando o tratamento com fogo há 15 anos, com 0,06 percentuais; no perfil de 50-75 cm, o tratamento controle se destacou dos demais, de 0,05 a 0,06% do nutriente, com decréscimos das médias para os outros tratamentos, não ultrapassou 0,06%. Entretanto, no último perfil, houve equivalência percentual, 0,05%, para os tratamentos de fogo anual e controle.

Para o carbono orgânico do solo conforme exposto na figura 4, os resultados diferiram do teor contabilizado e comparado ao nitrogênio. Dentre 0 a 50 cm, o tratamento com fogo anual prevaleceu sobre os demais, com valores de 1,3 a 1,55% (0-25 cm) e 0,9 a 1,2% (25-50 cm); o tratamento fogo há 15 anos, 0,7 a 1,2% e controle com 0,4 a 0,7%. Esses valores foram reduzidos conforme as coletas se aprofundaram como ocorreu com o outro nutriente avaliado, N, porém com percentuais maiores, entre os tratamentos, fogo anual, 0,8, fogo há 15 anos, 0,4 e 0,5 e controle, percentuais de 0,6 a 0,7 na camada de 50 a 75 cm. Contudo, no último estrato, houve uma analogia entre o tratamento fogo anual e controle, 0,4 a 0,5% e o tratamento fogo anual não ultrapassou 0,4%.



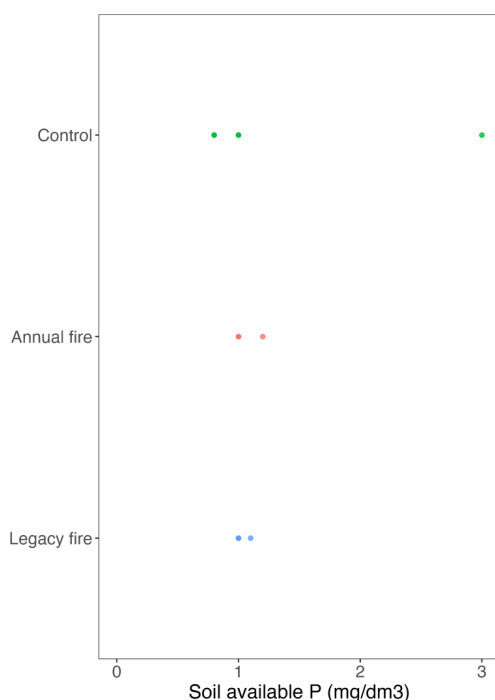
**Figura 7.** Dois principais componentes da Análise de Componentes Principais (PCA) mostrando a separação entre os tratamentos de acordo com as variáveis químicas do solo (carbono orgânico total, nitrogênio total, CTC, pH, P disponível, potássio e alumínio), dados das parcelas florestais de cerrado

sentido restrito da Fazenda Água Limpa - Brasília - DF. Cada ponto representa as parcelas dos tratamentos, onde foram coletadas amostras simples em três pontos diagonais por parcela em quatro profundidades e posteriormente analisadas quimicamente.

Na análise PCA (análise de componentes principais), os atributos químicos do solo e dos tratamentos, explicaram 66,57% da variação total, tendo PC1, 48,15% e PC2 18,42% das variações existentes. PC1 abrangeu variáveis de fósforo disponível e alumínio em covariação oposta ao pH e CEC. Observou-se que PC2 indica os descritores carbono orgânico total e o nitrogênio positivamente ao tratamento de fogo anual (Figura 5). Nos atributos avaliados na PCA, o alumínio (Al) foi fortemente associado à parcela quatro do tratamento Controle, e do tratamento fogo 15 anos, não correlacionado ao fósforo disponível, que teve alta importância para PC1. A análise aponta alta correlação entre nitrogênio e carbono orgânico total, oposto ao pH e capacidade de troca catiônica, que também apresentou alta correlação. O pH e a CTC (capacidade de troca catiônica) tiveram correlação negativa com o potássio (K). O potássio (K), teve alta correlação com a parcela um do tratamento controle. O carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio (N) correlacionaram fortemente com quatro parcelas do tratamento de fogo anual.

Sobreposição entre o tratamento fogo há 15 anos e os outros dois tratamentos indicam compartilhamento de características próximas dos atributos e uma boa separação dos tratamentos controle e fogo anual.

A figura 8 demonstra os níveis de fósforo presentes nos solos dos tratamentos avaliados.



**Figura 8.** Fósforo disponível no solo.

Entre os níveis de fósforo disponíveis no solo dos tratamentos, houve variação de 0,8 a 3 mg.dm, para o controle. No entanto, nos outros dois tratamentos: fogo anual, observou-se concentrações de 1 a 1,3 mg.dm<sup>-1</sup>, e para o fogo há 15 anos, 1,2 mg.dm<sup>-1</sup>.

### 3.5. DISCUSSÃO

Observou-se que em áreas de cerrado com registro de fogo anual, fogo 15 anos, e área sem registro de fogo há 30, apoiam hipóteses de que o fogo interfere de forma considerável nos parâmetros de uma vegetação, em específico nos atributos químicos do solo, sendo indicador de transformações nesse Bioma. Os estoques de carbono e nutrientes como o nitrogênio, potássio, fósforo, alumínio, a capacidade de troca catiônica e o fósforo, variaram nos três tratamentos, confirmando que a serapilheira é um componente, que pode contribuir para as alterações nos atributos do solo. Vale destacar que o fogo contribuiu para o aumento da concentração de carbono orgânico do solo e nitrogênio.

#### 3.5.1. Resultante do fogo no estoque de nitrogênio e carbono orgânico do solo

Os resultados sugerem que o carbono orgânico e o nitrogênio do solo, nos três tratamentos avaliados, são influenciados positivamente pela ação do fogo. Os percentuais observados, mesmo não sendo relativamente altos para solos de cerrado sentido restrito, enfatizam que embora incêndios reduzam a biomassa da vegetação ocorre também incorporação de carbono e nutrientes aos solos, posteriormente adsorvidos pelas raízes (ANDRADE, 2022). Os resultados encontrados confirmam que o fogo influencia os estoques de carbono orgânico do solo e de nitrogênio nos tratamentos em que ocorreram por pelo menos uma vez e que os impactos das queimadas constantes ao solo perduram por algum tempo. As diferenças nos tratamentos com o uso do fogo fazem sentido, dado que os níveis desses macronutrientes foram relativamente maiores se comparado ao tratamento controle.

O carbono orgânico e o nitrogênio são elementos atribuídos e indicadores da fertilidade dos solos (MELÉM JÚNIOR et al., 2008). A variação dos valores desses elementos nos solos são motivados pelas taxas de decomposição, as quais dependem da inter-relação do clima, atributos do solo, ações antrópicas de uso e mudança dos solos (GATTO, 2005). Esses elementos são essenciais para ecossistemas savânicos, além da temperatura dos solos, que não foi mensurado neste trabalho, são fortemente conectados com o crescimento das plantas, induzindo a absorção de água e nutrientes aumentando a fotossíntese (LOPES, 1998). A análise das diferenças dos dois tratamentos com fogo e o tratamento controle (fogo há 30 anos), para o

carbono orgânico total, ressaltam que o aumento nos estoques podem ser resultado da quantidade de gramíneas presentes, por serem grandes acumuladoras de biomassa subterrânea e, após a passagem do fogo, maximizarem sua propagação, adicionando carbono nas camadas superficiais dos solos (TORMENA et al., 2004).

Esse trabalho corrobora Sisti et al., (2004) e Sordi (2009), cujos estudos avaliaram os teores de carbono orgânico do solo, concluindo que em camadas mais profundas do solo há menor concentração de carbono e nutrientes pois o sistema radicular é um forte contribuinte para o aporte de carbono. A biomassa acima e abaixo do solo é um dos fatores responsáveis pela composição do carbono orgânico do solo, cuja entrada depende das taxas de decomposição de diferentes materiais orgânicos senescentes. Nesse sentido, valores de carbono orgânico do solo e nitrogênio maiores para os primeiros 25 cm de profundidade, são também resultado da lenta decomposição da serapilheira depositada (BALBINOT et al., 2003). O que ocorreu em nesse caso, para os primeiros horizontes, o carbono orgânico total e o nitrogênio no tratamento com fogo anual, apresentaram maiores valores, podendo ser reflexo das práticas de manejo, destacando o tratamento com o uso do fogo anual, com 1,60% desses nutrientes.

As atividades e ações de manejo alteram componentes do solo, como a densidade e as concentrações nutricionais de carbono. Em geral, ações com o uso do fogo se enquadram em práticas de manejo integrado do fogo (MIF), estabelecidos como protocolos para mitigação de incêndios, alterando os padrões biológicos e físico-químicos dos solos (SOUZA et al., 2019). Estudos prévios categorizam o cerrado sentido restrito como a fitofisionomia com maiores valores de carbono estocados no solo (COSTA, 2018).

Na camada do solo 25-50 cm, o estoque de carbono orgânico do solo e o nitrogênio, pouco variaram nos tratamentos. No entanto, na camada de 50-75 cm, o tratamento controle contrasta com os demais, com maiores valores para os dois nutrientes, sobressaindo o carbono, com maior concentração. Como resultado, nas camadas mais profundas, o fogo acaba afetando ou eliminando a integração dos constituintes nutricionais do solo. Contudo, na camada de 75 a 1,0 m, os tratamentos fogo anual e o controle se destacaram para os atributos carbono e nitrogênio, o que infere ser em função do sistema radicular de gramíneas. Giácomo (2015) conclui que o sistema radicular de gramíneas aumenta a concentração de nitrogênio nas camadas mais profundas. Essa dominância de gramíneas C4 é característica de todas savanas mundiais (SIMON; PENNINGTON, 2012; LEHMANN et al., 2011)

### 3.5.2. Efeitos do fogo nos atributos químicos do solo

Pesquisas sobre os efeitos do fogo em ambientes savânicos são de extrema importância, pois buscam compreender as implicações negativas, além dos aspectos positivos e influenciadores desse fator nas comunidades desses ambientes, sendo um dos objetivos

principais de estudos no bioma cerrado. Por serem regiões altamente intemperizadas, necessitam da rápida deposição e decomposição da serapilheira para nutrição dos solos e absorção pela vegetação, facilitada pelos regimes regulares de chuvas. Essa deposição da serapilheira é fundamental para o processo de ciclagem de nutrientes (GIWETA, 2020).

A análise de PCA para o alumínio, comprovou alta acidez no tratamento controle. Entretanto, no tratamento fogo há 15 anos, também foram identificados níveis de acidez. Concluindo que, no cerrado brasileiro, ocorrem oscilações extremas nas quantidades de nutrientes, conseqüentemente, contribuem para características intrínsecas da vegetação nessa região como por exemplo, como raízes grossas e espessas (BRADY; WEIL, 2013). Assim, o alto valor desse nutriente no solo, em conjunto com diferentes fatores físicos e ambientais, não limita o desenvolvimento da vegetação, sendo essa, maior e mais densa em comparação com as demais, que possuem fisionomia limitada, com o fogo. Nos tratamentos avaliados, o fogo está diretamente relacionado aos componentes nutricionais dos solos (EMBRAPA, 2018).

Os impactos do fogo na vegetação do cerrado afetam as proporções dos nutrientes vitais gerados da serapilheira, cuja combustão gera aumento de temperatura, acelerando a decomposição da matéria orgânica existente, evocando maior lixiviação (JABLON et al., 2015). Além disso, a PCA indicou que na savana estudada, houve forte correlação negativa do pH com a CTC dos solos, apresentando valor médio abaixo de  $4,05 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ , comprovando serem solos com alto teor de areia, baixa capacidade de retenção de água, alta lixiviação de nitrogênio (LOPES, 1998). As primeiras parcelas do tratamento com fogo, há 15 anos, apresentaram similaridade com o tratamento controle, para teores de alumínio.

De forma geral, a acidez é característica dos solos do cerrado sentido restrito e a diversidade nos atributos químicos, como altos teores de alumínio e baixos teores de nitrogênio e fósforo (RIBEIRO; WALTER, 2008; SOUSA; LOBATO, 2004). Não diferente, as áreas de estudo apresentaram aumento nos valores de alumínio e fósforo disponível, em destaque para área controle, onde a presença do fogo foi há 30 anos. Ressaltando que as conseqüências do fogo, resultam em minimizar, maximizar ou estabilizar o quantitativo de cada nutriente.

Quanto ao pH, foram identificados elevados teores com poucas diferenças nos tratamentos avaliados, corroborando estudos de Resende et al., 2007. Fonseca et al. (2017), mensurando pH pré e pós queima, constataram que as alterações nutricionais causadas pelo fogo, não perduram muito tempo, por terem encontrado maiores valores após a queima, e meses após passagem do fogo, valores similares ao período pré queima.

Neste estudo, o fósforo disponível no solo foi maior para a área controle, não significando que esteja disponível para as plantas, o que pode ser explicado pela abundância de matéria orgânica presente e, a medida que se decompõem, se torna disponível para as plantas e detectável na análise realizada (LOPES, 1998). Entretanto nas áreas com passagem de fogo, as

similaridades nos valores encontrados pode ser explicada em função da queima do fósforo orgânico ser convertido em inorgânico após queima (GALANG; MARKEWITZ; MORRIS, 2010). Entretanto, mesmo tendendo a aumentar, o fósforo é extremamente suscetível a perdas por processos erosivos e com a lixiviação dos solos (WIENHOLD; KLEMMEDSON, 1992).

### 3.6. CONCLUSÕES

Conforme apresentado no estudo, os efeitos do fogo na vegetação dos cerrados brasileiros, são variados e com fortes ligações, tanto na composição da vegetação quanto no solo da região. As observações em áreas de cerrado com registro de fogo anual e há 15 anos, e área sem registro de fogo há 30, apoiam hipóteses de que o fogo interfere de forma considerável nos parâmetros físicos e químicos de uma vegetação, em específico na estrutura, na composição, diversidade e nos atributos químicos do solo, sendo indicador de transformações nesse Bioma. Certas espécies como *Miconia leuocarpa*, estiveram fortemente associadas ao fogo, porém, espécies como *Miconia Ferruginata*, apresentaram melhores relações com a extinção do fogo. Contrariamente as expectativas, a mortalidade das árvores foi determinada tanto pelo fogo como pela sua ausência, incêndios anuais alteraram os parâmetros da vegetação, diversificando a distribuição e impondo padrões divergentes quando comparados aos tratamentos sem fogo regular.

Esse estudo de quantificação dos efeitos do fogo na vegetação e nos solos no cerrado brasileiro, é fundamental para entender os mecanismos de evolução da vegetação diante de episódios de fogo, em razão desse agente ser o principal influenciador de mudanças nestes ambientes. As mudanças nos padrões do fogo contribuem para que os estoques de nutrientes, carbono, nitrogênio, potássio, fósforo, alumínio, a capacidade de troca catiônica, o pH, variassem nos três tratamentos estudados, confirmando as alterações na biomassa e conseqüentemente nos atributos do solo. Em contraste, o fogo contribuiu para o aumento dos parâmetros de carbono orgânico do solo e nitrogênio, onde houve mais incidência.

Ressalta-se a necessidade da continuidade de pesquisas nesse âmbito, para maior compreensão da atuação do fogo, nos mecanismos de desenvolvimento e evolução da vegetação do cerrado, devido a extrema importância para conservação e preservação desse bioma.

### 3.7. REFERÊNCIAS

- ANACHE, J.A.A., FLANAGAN, D.C., SRIVASTAVA, A. & WENDLAND, E.C. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, 622–623, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>. 2018.11.257
- ANDRADE, T.G; LIMEIRA, M.M.C; COELHO, M.C.B; VARALLO, M.A; ATAIDE, Y.S.B; DOS SANTOS, A.F. Carbono no solo e no extrato arbóreo em áreas de manejo de florestas nativas no Cerrado. **Nativa**, v. 10, n. 2, p. 230-236, 2022. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- BALBINOT R; SCHUMACHER M.V; WATZLAWICK L.F; SANQUETTA, C.R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais** 2003; 5(1): 59-68. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8.ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- BÜNEMANN, E.K; BONGIORNO, G; BAI, Z; CREAMER, R.E; De DEYN, G; de GOEDE, R; PULLEMAN, M. Qualidade do solo - uma revisão crítica. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- COSTA, T. G. A.; IWATA, B. F.; TOLEDO, C. E.; COELHO, J. V.; CUNHA, L. M.; CLEMENTINO, G. E. DOS S.; LEOPOLDO, N. C. M. Dinâmica de carbono do solo em unidade de conservação do cerrado brasileiro sob diferentes fitofisionomias. **Revista Gestão & sustentabilidade ambiental**. Florianópolis, v. 7, n. 4, p. 306-323, out/dez. 2018. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- COSTA, E. G. DA. **Incêndios Florestais em Unidades de Conservação do Bioma Cerrado: Estudo de Caso no Parque Nacional da Serra da Canastra**. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário de Formiga - UNIFOR - MG, 77 f. Formiga, MG. 2010. <https://scholar.google.com.br/scholar> .
- COCHRANE, M. Fire science for rainforests. **Nature**, New York, v. 421, n. 27, p. 913-919, 2003. <https://doi.org/10.1038/nature01437>
- COCHRANE M.A; SCHULZE M.D. 1999. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass and species composition. **Biotropica** 31: 2-16. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00112.x>
- CHAZDON, R. L. Renascimento de florestas: regeneração na era do desmatamento. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. <https://scholar.google.com.br/scholar>
- COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. Á.; BEIRIGO, R. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; NASCIMENTO, A. F.; VIDAL-TORRADO, P. Solos do Pantanal Matogrossense. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.).



Pedologia: solos dos biomas brasileiros. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2017. p. 303-352. <https://scholar.google.com/scholar>

DJUKIC, I. et al., Early stage litter decomposition across biomes. **Science of the Total Environment**, v. 628–629, p. 1369–1394, 2018. <https://scholar.google.com.br/scholar>

DURIGAN, G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. **Flora**. 268. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151612> .

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p. <https://scholar.google.com.br/scholar>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. <https://scholar.google.com.br/scholar>

EMBRAPA, 2017. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas / Rosana Faria Vieira.-- Brasília, DF: 163 p: il. color. ISBN 978-85-7035-780-91. <https://scholar.google.com.br/scholar>

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. Revista atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. <https://scholar.google.com.br/scholar>

EWEL, J.J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. **Journal of Ecology** 64(1): 293-308. 1976. <https://scholar.google.com.br/scholar>.

FELFILI, J.M.; REZENDE, A.V.; JÚNIOR, M.C.D.S.; SILVA, M.A. Changes in the floristic composition of cerrado sensu stricto in Brazil over a nine-year period. **J. Trop. Ecol.** 2000, 16, 579–590. <https://doi.org/10.1017/S0266467400001589>.

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T. de; NOGUEIRA, C.; QUEIRÓS, A. Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain área. **Geoderma**, v. 307, p. 172–180, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.018>

GALANG, M. A; MARKEWITZ, D.; MORRIS, L. A. Soil phosphorus transformations under forest burning and laboratory heat treatments. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, n. 3-4, p. 401-408, mar. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.026>

GATTO, Alcides. Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. Tese de Doutorado. 2005. <https://scholar.google.com.br/scholar>

GIÁCOMO, R. G. *et al.* Florística e fitossociologia em áreas de campo sujo e cerrado *sensu stricto* na estação ecológica de Pirapitinga - MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 29-43, 2013.

GIWETA, M. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. **J. Ecol. Environ.**, 44, pp. 1-9, 2020. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup](https://scholar.google.com/scholar_lookup).

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Bras Fisiol Veg**, 2000, 12:54-64. <https://scholar.google.com.br/scholar>.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Braz. J. Plant Physiol.** 2008, 20, 183–195. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>.

INKOTTE, J; MARTINS, RCC; SCARDUA, FP; PEREIRA, RS. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma cerrado: uma revisão sistemática. *Ciência. Florestal*, 29 (2019), pp. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup](https://scholar.google.com/scholar_lookup)

KOPPEN, W. Climatología: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica. México. 1948, 479p. <https://scholar.google.com.br/scholar>.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transaction of the Royal Society B. London**, v. 363, 815 – 830, 2008. <https://scholar.google.com.br/scholar>

LAL, R. Sequestering atmospheric carbon dioxide. **Critical Reviews in Plant Science**, 28, 90-96, 2009. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352680902782711>.

LEHMANN, C.E.R; ARCHIBALD, S.A; HOFFMANN, W.A; BOND, W.J. Deciphering the distribution of the savanna biome *New Phytol.*, 191 (2011), pp. 197-209, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03689.x>.

LOPES, A. S. Manual Internacional de Fertilidade do solo. 2 ed. rev. e ampl. Piracicaba. **Instituto POTAFOS**, 1988. 177 p. <https://scholar.google.com.br/scholar>

LOPES, J. F. B.; LOBATO, E. M. A.; OLIVEIRA, F. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARRAES, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. *Revista Agroambiente On-line, Boa Vista*. 2009, v. 3, n. 2, p. 72-79. <https://scholar.google.com.br/scholar>.

LIMA, M. G. M. Mamíferos de médio e grande porte do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Brasil. Paraná, Dissertação (Mestrado em Zoologia) – UFPR, 2009. <https://scholar.google.com/scholar>

LIMA, D. C. DE. CASTRO, A.; B.; LIMA, A. P; MAGNUSSON, W. E.; LANDEIRO, V.L.; FADINI, R.; F. Influência do regime de queimadas sobre a riqueza e composição florística de uma savana isolada na Amazônia - PELD Oeste do Pará. **Oecologia Australis**, Austrália. 2020, 24(2):301-316, <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2402.06>.

MARTINS, M. F. O. et al., Accessing the subterranean ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) in native and modified subtropical landscapes in the Neotropics. **Biota Neotropica**, v. 20, e 20190782, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0782>

MELÉM JÚNIOR, N. J.; FONSECA, I. C. B.; BRITO, O. R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M. M.; MATOS, M. F. A.; GUEDES, M. C.; QUEIROZ, J. A. L.; BARROSO, K. O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. *Seminário: Ciências Agrárias. Londrina*. n. 3, v. 29, p. 499-506, jul./set. 2008. <https://scholar.google.com.br/scholar>

MYERS, N.; MITTERMELER, R.A.; MITTERMELER, C.G.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403, 853–858. 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

NAIR P.K.R; KUMAR, B.M; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **J Plant Nutr Soil Sci**. 2009;172:10-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Washington, v.44, p.322-330, 1963. <https://scholar.google.com.br/scholar> .

PRIMIERY, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecosistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**. 2017; 24: e00110314. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.110314> . ISSN 2179-8087

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 5.ed. Lavras: Ed. da UFV, 2007. 322p.<https://scholar.google.com/scholar>

RIBEIRO, J.F; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (eds.) **Cerrado: ecologia e fóruns**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp 151–212. 2008. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/570911> .

SANTOS, A.F.A; CARNEIRO, A.C.P; MARTINEZ, D.T, CALDEIRA, S.F. Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v.24, 2017. <https://scholar.google.com/scholar>

SANTOS, H. D., Jacomine, P., Anjos, L., Oliveira, V., Lumbrreras, J., Coelho, M., . & Oliveira, J. (2018). Embrapa: Sistema brasileiro de classificação de solos. <https://scholar.google.com/scholar>

SCHUMACHER, M.V; CORRÊA, R.S; VIERA, M.; ARAÚJO, E.F. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus maidenii*. *Cerne*, Lavras, v.19, n.3, p.501-508, 2013. <https://scholar.google.com/scholar>

SILVA, F. B.; SANTOS, J. R. N.; FEITOSA, F. E. C. S.; SILVA, EU. D. C.; ARAÚJO, M. EU. S. de; GUTERRES, C. E.; SANTOS, J. S. dos; RIBEIRO, C. V.; BEZERRA, D. da S.; NERES, R. L. Evidências de Mudanças Climáticas na Região de Transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n.3, pág. 330–336, definir. 2016. <https://scholar.google.com/scholar>

SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P.; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGHES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a Neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, v. 106, n. 48, p. 20359-20364, 2009. <https://scholar.google.com/scholar>

SIMON, M.F. & PENNINGTON T. 2012. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, 173: 711-723. <https://scholar.google.com/scholar>

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004. <https://scholar.google.com/scholar>

SOUZA, M. A. de; VALE, A. T. do. Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de Cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 181-192, 2019. <https://scholar.google.com/scholar>

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Eds). Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 395. <https://scholar.google.com/scholar>

SORDI, A. et al. Estoque de carbono do solo, sob diferentes sistemas de uso da Terra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais..** Fortaleza: SBCS. 1 CD-Rom. <https://scholar.google.com.br/scholar>

TORMENA, C.A.; FRIEDERICH, R. PINTRO, J.C.; COSTA, A. C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, 1023-1031, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n6/22924.pdf>

USUGA, J. C. L. et al. Estimation of biomass and carbon stocks in plants, soil and forest floor in different tropical forests. *Forest Ecology and Management*, v. 260, n. 10, p. 1906–1913, 15 out. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.040>

ZAGO, L. M. S., et al (2020) Biochemical indicators drive soil quality in integrated crop–livestock– forestry systems. **Agroforest System**, 94, 2249–2260. Recebido em: 06/11/2020 Aceito em: 29/06/2021. <https://scholar.google.com/scholar>

## 4. PRINCIPAIS CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS

### 4.1 - Revisitando as questões de pesquisa e hipóteses

A primeira questão de pesquisa levantada, buscou esclarecer as interferências da queima controlada nos parâmetros horizontais e verticais de um cerrado *stricto sensu*. O que, de acordo com os resultados dos parâmetros de diversidade de Shannon, equabilidade de Pielou e riqueza de espécies, ocorreram modificações consideráveis no tratamento com fogo anual para os parâmetros horizontais e verticais que se destacou dos demais tratamentos. Corroborado por Medeiros e Miranda, (2005), citando ser o fogo um dos mecanismos de transmutação das comunidades vegetais nos ecossistemas de cerrado. Estudos demonstram que a prática regular de queima do Cerrado na estação seca estimula a rebrota da vegetação (Salgado-Labouriau, 2005).

Tendo em vista tal resposta, a próxima questão de pesquisa se referiu a intensidade de recuperação da vegetação nos parâmetros horizontais e verticais, o fogo diminuiu a estrutura e a distribuição dos indivíduos nos ambientes em que ocorrem regularmente, deduzindo que nesse caso, reduziu a capacidade de recuperação da vegetação, especialmente nos indivíduos de menores diâmetros. Rocha-Silva (1999), em estudos com fitofisionomias do Cerrado, mostrou que mesmo com intervalos de queima, bienais e quadrienais, em vegetação protegida, o fogo reduziu 21% dos indivíduos lenhosos, e 33% na área sujeita a queimadas bienais e 24% com queimadas quadrienais.

Em função do fogo, a altura média dos indivíduos, varia entre 0,3 a 31 cm, devido às baixas taxas de crescimento das espécies, a prolongação do período de rebrota das espécies no Cerrado é necessária para que mecanismos como a rebrota atinjam diâmetros com casca que proporcione proteção eficaz contra altas temperaturas nos eventos de queima (Armando, 1994). Os dados obtidos para avaliação da estrutura horizontal, da fitossociologia são fundamentais na avaliação dos efeitos do fogo, por alterarem os parâmetros de desenvolvimento da vegetação se comparados com áreas sem fogo regular.

Entretanto, para os atributos químicos do solo, no tratamento com fogo recorrente, uso da queima controlada, houve considerável aumento nos índices dos nutrientes avaliados, influenciando positivamente, mesmo dois meses após a queima, confirmando as modificações ocorridas nos tratamentos com fogo. A diminuição da cobertura vegetal, causada pelo consumo de material combustível e o volume de cinzas depositado na superfície do solo, condiciona o aumento dos níveis dos nutrientes (Miranda et al, 2010). A redução dos componentes da biomassa vegetal e da camada da serapilheira impactam as relações solo e planta, implicando todo sistema (Frost e Robertson, 1987). Em relação aos impactos no estoque de carbono, as conclusões apontam que as variações refletem as mudanças na estrutura e na composição da vegetação diante da queima recorrente.

## 4.2 - Principais conclusões do estudo

De maneira geral, a presença de incêndios em um ecossistema de Cerrado, remodela os padrões estruturais, ressaltando as influências nas taxas de composição, riqueza, diversidade, equabilidade, na distribuição das espécies. Consolidando as mudanças nos parâmetros avaliados ao longo do período abordado nesta pesquisa.

Em relação a mortalidade, nesse ambiente, o fogo não foi o agente definidor, visto que tanto na área com fogo recorrente, como para área sem fogo há 30 anos, as mortes foram equivalentes, para o período pesquisado.

As hipóteses definidas para os padrões de composição e estrutura da vegetação foram aceitas, em virtude do fogo contribuir para alterar padrões da vegetação, delinear modificações no Bioma estudado, determinar.

### 4.3 4.3 - Aplicações no contexto das mudanças climáticas e dos incêndios florestais

Os resultados obtidos nesta pesquisa contribuem para aumentar os conhecimentos acerca do manejo integrado do fogo, visando minimizar problemas com incêndios, uma vez que o uso racional, contribui para reduzir o perigo de incêndios de grandes proporções, ao mesmo tempo que possibilita seu uso racional.

A implementação do uso do fogo é necessária, por anos de registros com recordes de incêndios ambientais, gerando impactos negativos e que podem ser mitigados através da aplicação das estratégias do Manejo Integrado do Fogo (MIF). Essas técnicas utilizam um aglomerado de ações de conscientização, metodologias de prevenção, reunião e engajamento de toda comunidade, protocolos de restauração de áreas degradadas, para que o fogo não se propague e seus danos sejam reversíveis em menor período de tempo (IPAM, 2022).

Metodologias de prevenção de incêndios são práticas que contribui com os objetivos de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), objetivo 13, tomando medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos, bem como o objetivo 15, protegendo, recuperando e promovendo o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerindo as florestas com sustentabilidade, detendo e revertendo a degradação da terra e a perda de biodiversidade (ONU, 2022).

## 4.4 - Observações finais

Este estudo se caracterizou por avaliar as inferências do fogo em um ambiente de vegetação nativa, quantificar os efeitos nos componentes correlacionados, como solo, na serapilheira, nos índices de carbono, servindo como base para orientações no estabelecimento de protocolos e metodologias de prevenção no uso do fogo.

Haja vista a suma importância da compreensão dos principais resultados que o fogo inflige a vegetação, a necessidade de maiores estudos e conhecimentos sobre a dinâmica do fogo no Bioma Cerrado, se destacam os estudos desse condicionante nos ecossistemas tropicais (Durigan, 2020).

#### 4.5 - Oportunidades para estudos futuros

O presente trabalho pode ser entendido como uma inicialização em pesquisas com fogo para essa área da Fazenda Água Limpa, como também pode ser estendido para ambientes com vegetação análoga. Para oportunidades futuras, há que se concentrar nas interferências do clima para esse tipo de estudo, considerar as especificidades de cada ecossistema, o incremento a longo prazo que o fogo transfere, para que assim se estabeleça ferramentas e metodologias intrínseca em cada local, e possa tornar o fogo mais um aliado do que um elemento voraz destrutivo.

Pesquisas nesse sentido, a longo prazo, contribuirão para determinar as principais espécies e famílias que se beneficiam ou são prejudicadas pelo fogo, no Cerrado, as alterações nos níveis de carbono existentes nesse tipo de vegetação, além da possibilidade de expandir estudos sobre comportamento do fogo, como intensidade da linha de fogo, taxa de energia liberada, tempo de residência, velocidade de propagação visando determinar padrões e contribuição para compreensão dos principais mecanismos e definidores do fogo, e elaboração de metodologias de prevenção e combate.

### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta tese evidenciaram a importância de abranger maiores estudos para compreensão das principais interferências do fogo em uma vegetação de cerrado *stricto sensu*. o período de desenvolvimento com a adequação do projeto de pesquisa, determinação, delimitação das áreas de pesquisa, implantação das parcelas, coleta de material combustível, coleta de solos, inventário florestal, pelo período de 3 anos, possibilitaram avançar nos conhecimentos da relações fogo-vegetação do cerrado.

Deixando claro, que atividades em campo, em um período relativamente atípico, acometido mundialmente pela pandemia da Covid 19, além dos inúmeros desafios e adversidades, como encontro com animais peçonhentos, ataques de vespas, contínuas chuvas, demora na obtenção de materiais para uso em campo, não se pode deixar de mencionar a empatia e solidariedade de todos os colaboradores envolvidos nesse trabalho. Lembrando sempre que o delinear de um trabalho nesse nível, não é uma

tarefa solitária, há inúmeros colaboradores que se tornam amigos, colegas, há desconhecidos que auxiliam, há muito suor, sentimento de desespero, raiva, desespero, mas também uma indescritível sensação de prazer e êxtase, quando diante de tantos dados, surgem os primeiros resultados, figuras, sem mencionar a sensação de alívio e incredulidade, após defesa, que somente os que já passaram por essa etapa em suas vidas, sabem mensurar e descrever. Um trabalho seria preliminarmente dividido em 4 capítulos, o que em detrimento dos fatores acima mencionados e tantos outros, não pode ser finalizado como inicialmente estabelecido.

Entretanto, destes dois capítulos sobreviventes, identifica-se a necessidade de maiores estudos que englobam os efeitos do fogo nesse ecossistema, para que não seja somente considerado um agente destruidor, ressaltando a necessidade de um levantamento sobre seus efeitos em cada família, além da experimentação sobre o comportamento e a ecologia do fogo e suas variáveis para vegetação desse Bioma. O segundo capítulo abordou os efeitos do fogo no solo e no material combustível coletado, em razão de serem fatores de desenvolvimento da vegetação. Cabendo ressaltar que existem estudos objetivando compreender o fogo no cerrado, entretanto, são estudos que contemplam a avaliação *in loco* mas que não delongam tempo, para corroboração dos problemas advindos ou mesmo dos mecanismos de sobrevivência e desenvolvimento desenvolvidos pela vegetação.

Espera-se que esse trabalho contribua para o desenvolvimento de parâmetros e protocolos de prevenção, controle e uso manejado do fogo nas savanas brasileiras.



## 6. REFERÊNCIAS

ARMANDO, M. **O impacto do fogo na rebrota de algumas espécies de árvores do Cerrado**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

DURIGAN, G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. *Flora*. **2020**, 268. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151612> .

FROST, P. G. H.; ROBERTSON, F. The ecological effects of fire in savannas. In: WALKER, B. H. (Ed.). **Determinants of Tropical Savannas**. Oxford: IRL Press, 1987. p. 93-139.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 493-500, 2005.

MIRANDA, H.S. Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades do Cerrado: Projeto Fogo. IBAMA. Brasília, 144 p. 2010. <https://scholar.google.com.br/scholar>

ROCHA-SILVA, E. P. **Efeito do regime de queima na taxa de mortalidade e estrutura da vegetação lenhosa de campo sujo de Cerrado**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1999

SALGADO-LABOURIAU, M. L. Alguns aspectos sobre a paleoecologia dos cerrados. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Ed.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: MMA, 2005. p. 107-118.