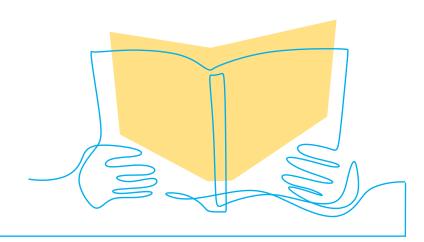
O CERRADO E OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS



O CERRADO E OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

SUMÁRIO

- 1 Caracterização do bioma Cerrado
- 2 Mudança no clima no Cerrado
- 3 Desmatamento e Incêndios
- **4** Biodiversidade e Funcionamento dos Ecossistemas
- 5 Possíveis Soluções
- 6 Referências



1. Caracterização do bioma Cerrado

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, é um dos mais biodiversos do mundo em termos de plantas e animais – abrigando cerca de 5% de todas as espécies da Terra – sendo que 40% das espécies da flora são únicas desta região¹. O bioma é composto por formações savânicas, que ocupam a maior parte do bioma (~76 milhões de hectares), seguidas pelas formações florestais (~40 milhões de hectares) e formações campestres, em menores proporções (~8 milhões de hectares)². As formações savânicas são caracterizadas pela presença de árvores e de arbustos esparsos sobre estrato graminoso. As formações campestres são caracterizadas pelo predomínio de plantas herbáceas e gramíneas, enquanto que as formações florestais são caracterizadas pelo predomínio de árvores com formação de dossel³.

Em função de sua distribuição central, o Cerrado também faz transição com outros biomas brasileiros como Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Amazônia⁴.

O clima do Cerrado é marcado pela distribuição sazonal da precipitação, com um período marcadamente seco e um período chuvoso que concentra cerca de 90% da precipitação anual. As variações de temperatura são menos marcantes, com temperatura média em torno de 22-23°C⁵. No entanto, em função de sua ampla distribuição, ocupando cerca de 22% do território nacional, o Cerrado apresenta variações sub-regionais na temperatura, na precipitação total, na duração do período seco e em altitude⁶.



- $^{\rm 1}$ KLINK,C. a. & Machado, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. Conserv. Biol. 19, 707–713 (2005).
- 2 SANO, E. E., Rosa, R., Brito, J. L. S. & Ferreira, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. Environ. Monit. Assess. 166, 113–124 (2010).
- ³ RIBEIRO, J. F. & Walter, B. M. As Principais Fitofisionomias do bioma Cerrado. in Cerrado: Ecologia e Flora (eds. Sano, S. M., Almeida, S. P. & Ribeiro, J. F.) 151–199 (Embrapa Cerrados, 2008). ⁴ SANO, 2010.
- SANO, E. D. & Evangelista, B. A. Caracterização climática do Bioma Cerrado. in Cerrado: Ecologia e Flora (eds. Sano, S. M., Almeida, S. P. & Ribeiro, J. P.) 69–88 (Embrapa, 2008). SANO, E. E. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. J. Environ. Manage. 232, 818–828 (2019).
- 6 Oliveira, U. et al. Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage. 482, 118889 (2021).





A sazonalidade na precipitação é um determinante significativo dos ciclos naturais da flora e da fauna do Cerrado e também da ocorrência de distúrbios como incêndios. A grande extensão do bioma, somada à sua alta heterogeneidade ambiental e divisa com outros biomas, contribui para diferenças marcantes na composição das espécies e na estrutura da vegetação, além de, também, para manter a sua alta biodiversidade⁷.

O Cerrado também é uma das mais importantes fontes de água do Brasil⁸, sendo o berço de diversas nascentes de rios que compõem importantes bacias hidrográficas (como Amazônica, São Francisco, Araquaia-Tocantins e Paraná-Paraguai) e contribui com cerca de 43% de toda a água doce do Brasil⁹.

Os solos profundos do Cerrado, com a presença de plantas com raízes profundas, fazem com que ele seja capaz de estocar grande quantidade de água das chuvas, o suficiente para distribui-la para milhões de nascentes, mesmo no auge da estação seca¹⁰. A vegetação do Cerrado armazena milhões de toneladas de dióxido de carbono, sendo que 70% destes estão estocados no solo e em raízes profundas¹¹. O Cerrado desempenha um papel fundamental no ciclo global do carbono, atuando como um importante dreno CO₂ da atmosfera e mantendo significativo estoque de carbono na vegetação e no solo¹². No entanto, a sazonalidade da precipitação determina uma maior atividade de absorção de carbono pela vegetação durante o período chuvoso¹³.

 ⁷ KLINK, C. a. & Machado, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. Conserv. Biol. 19, 707–713 (2005).
 ⁸ KLINK, C. A., Sato, M. N., Cordeiro, G. G. & Ramos, M. I. M. The role of vegetation on the dynamics of water and fire in the cerrado ecosystems: Implications for management and conservation. Plants 9, 1–27 (2020).
 ⁹ STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado. Science (80-.). 1, 1–3 (2017).
 ¹⁰ KLINK (2005) e EMBRAPA (2010).
 ¹¹ PAIVA, A. O., Rezende, A. V. & Pereira, R. S. Estoque de carbono em cerrado Sensu stricto do Distrito Federal. Rev. Arvore 35, 527–538 (2011).
 ¹² GOMES, L. et al. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. Front. For. Glob. Chang. 3, 507710 (2020).
 ¹³ PINTO, A. S. & Bustamante, M. M. C. Emissões de gases-traço (CO2, CO, NO e N2O) do solo para a atmosfera em fitofisionomias de Cerrado sob diferentes regimes de queima. in Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo 50–57 (IBAMA, 2010).

2. Mudança no clima no Cerrado

Estima-se que as atividades humanas já tenham causado cerca de 1,1°C de aquecimento global, desde o período préindustrial até o presente¹⁴. Especificamente no Cerrado, foram registrados aumentos mensais de 2,2-4,0°C nas temperaturas máximas e 2,4-2,8 °C nas temperaturas mínimas entre os anos de 1961 e 2019¹⁵. O planeta provavelmente atingirá ou excederá 1,5°C de aquecimento nas próximas duas décadas (2030 e 2052)¹⁶. Essas mudanças podem ainda ser maiores em um cenário de altas emissões, em que o mundo pode aquecer até 5,7°C até 2100. O aumento de 1,5°C provocaria um aumento de até 22% da área queimada no Cerrado até 2050¹⁷.

O cenário pessimista, que considera aumento de 4,5°C a 8,5°C na temperatura global, é ainda mais catastrófico, com aumento da área queimada pelo fogo de 39% a 95% até 2100, o que poderia ocasionar o desaparecimento do bioma¹⁸. Além disso, em um cenário de 4,5°C, a proporção de queimadas de alto impacto se expandiria de 3% do bioma para 15% até 2050, e o impacto do fogo se intensificaria em 95% no Cerrado¹⁹.

Os impactos da mudança global do clima interagem com mudanças de uso da terra no bioma, que contribuem com emissões de gases de efeito estufa, modificam o regime de queimadas e alteram o ciclo hidrológico no Cerrado. Tais aspectos são apresentados a seguir.



 14 IPCC. Global Warming of 1.5°C. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, (Cambridge University Press, 2018). doi:10.1017/9781009157940

¹⁶ PINTO, A. S. & Bustamante, M. M. C. Emissões de gases-traço (CO2, CO, NO e N2O) do solo para a atmosfera em fitofisionomias de Cerrado sob diferentes regimes de queima. in Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo 50–57 (IBAMA, 2010).

¹⁷ SILVA, P. S., Bastos, A., Libonati, R., Rodrigues, J. A. & DaCamara, C. C. Impacts of the 1.5 °C global warming target on future burned area in the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage. 446, 193-203 (2019).

¹⁹ IDEM

3. Desmatamento e Incêndios

Nas últimas décadas, os ecossistemas de Cerrado estão passando por uma rápida perda de habitats devido a uma extensa conversão de áreas de vegetação nativa para outros usos. Apesar das funções vitais desempenhadas pelo bioma, cerca de 46% das áreas nativas do Cerrado já foram convertidas devido à expansão agrícola e o restante está sob constante ameaça. A conversão de áreas nativas no Cerrado atingiu mais de 8,5 mil km² entre 2020 e 2021, a maior desde 2015. A substituição de vegetação natural por áreas agrícolas tem sido destacada como uma das principais atividades antrópicas responsáveis pelo aumento da quantidade de carbono na atmosfera.

A vegetação nativa do Cerrado vem dando lugar principalmente a pastagens e plantações de soja, sendo que essas atividades ocupam cerca de 41% da área original do Cerrado (34% pasto e 7% soja). Essas práticas, ligadas ao desmatamento no Cerrado, emitiram cerca de 55,5 milhões de toneladas de CO₂ em 2019. A vegetação nativa remanescente no Cerrado também está ameaçada pela alta frequência de incêndios, que está fortemente relacionada com desmatamento. De 2000 a 2019, o Cerrado foi o bioma brasileiro mais afetado pela ocorrência de incêndios (41% de sua área)²⁶.

- ²⁰ STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado. Science (80-.). 1, 1–3 (2017).
- ²¹ INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios (2019). Available at: http://www.inpe.br/queimadas. (Accessed: 6th December 2018).
- ²² SEEG. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. (Observatório do Clima, 2020).
- ²³ Mapbiomas. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: http://mapbiomas.org/; Acessado em: outubro de 2021. (2021).
- 24 SEEG. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. (Observatório do Clima, 2020).
- ²⁵ SILVA, P. S., Bastos, A., Libonati, R., Rodrigues, J. A. & DaCamara, C. C. Impacts of the 1.5 °C global warming target on future burned area in the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage. 446, 193–203 (2019).
- ²⁶ Mapbiomas. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: http://mapbiomas.org/; Acessado em: outubro de 2021. (2021).



O ritmo acelerado de desmatamento e o aumento da freguência de incêndios no Cerrado estão associados à degradação do bioma, com severas consequências negativas atreladas às emissões de gases do efeito estufa e às mudanças climáticas. O fluxo do carbono atmosférico também tem sido alterado pelos incêndios²⁷. Cerca de 3,16 milhões de toneladas de CO₂ foram emitidos por queimadas no Brasil entre 1990 e 2020, sendo que o Cerrado foi o bioma que liderou as emissões de GEE (2,03 Gg CO₂), correspondendo a cerca de 64% das emissões brasileiras por queimadas²⁸. Esse carbono liberado pela queima pode retornar para a vegetação ao longo do tempo, na medida em que a vegetação se regenera²⁹. Apesar da vegetação do Cerrado ter evoluído com o fogo (ver quadro), a presença humana tem modificado o regime de fogo através de três determinantes principais: o clima, quantidade de combustível e as suas fontes de ignição, que agora já não são apenas as fontes naturais, mas também humanas³⁰. Essas modificações têm causado incêndios mais severos e frequentes, impedindo que a vegetação recupere o carbono perdido³¹. Além disso, outros gases do efeito estufa que não CO₂, como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N2O), não são reabsorvidos pela vegetação³².

Atualmente, a maior proporção de vegetação remanescente do Cerrado está na porção norte do bioma³³, onde são observadas as taxas mais altas de conversão nos últimos 30 anos³⁴. A região é conhecida como Matopiba (acrônimo composto a partir dos nomes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e também concentra o maior número de focos de incêndios³⁵. A interação entre o desmatamento e o fogo opera em um ciclo destrutivo no qual, quanto mais se desmata, mais gases de efeito estufa são emitidos, potencializando as mudanças climáticas, que, por sua vez, causam aumento de temperatura

e clima mais seco, o que torna o sistema mais vulnerável à ocorrência de novos incêndios. Ambientes que sofreram desmatamento ou incêndio recentes se tornam locais favoráveis ao aumento da presença de gramíneas, que se adaptam facilmente a ambientes abertos com alta intensidade de luz36. As gramíneas, por terem uma estrutura fina e aerada, se tornam altamente inflamáveis durante o seco, tornando-se fonte combustível para o fogo³⁷. Assim, a alta flamabilidade dos ambientes é mantida por um mecanismo de retroalimentação em que fogo diminui a cobertura vegetal, favorecendo a expansão dessas gramíneas, o que aumenta ainda mais a flamabilidade da vegetação, favorecendo, assim, a ocorrência de novos incêndios³⁸.

²⁷ SEEG. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. (Observatório do Clima, 2020).

 $^{^{\}rm 28}$ SEEG. Nota Metodológica SEEG 9 Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas. 76 (2021).

²⁹ Gomes, L. et al. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. Front. For. Glob. Chang. 3, 507710 (2020).

³⁰ Bowman, D. M. J. S. et al. Fire in the Earth System. Science (80-.). 324, 481–484 (2009).

³¹ Gomes, L. et al. Long-term post-fire resprouting dynamics and reproduction of woody species in a Brazilian savanna. Basic Appl. Ecol. 56, 58–71 (2021).

³² Gomes, L. et al. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. Front. For. Glob. Chang. 3, 507710 (2020). - 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. 82, 519–531 (1994).

³³ Sano, E. E., Rosa, R., Luís, J., Brito, S. & Ferreira, G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Pesqui. Agropecuária Bras. 43, 153–156 (2008).

³⁴ Rocha, G. F., Ferreira, L. G., Ferreira, N. C. & Ferreira, M. E. Detecção de desmatamento no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, Tendência e Impactos. Rev. Bras. Cartogr. 63, 341–349 (2011).-Hofmann, G. S. et al. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. Glob. Chang. Biol. 27, 4060–4073 (2021).

³⁵ Silva, P. S. et al. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions. J. Environ. Manage. 296, 113098 (2021).

³⁶ Bond, W. J. What Limits Trees in C 4 Grasslands and Savannas? Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 39, 641–659 (2008).

³⁷ Gomes, L., Miranda, H. S., Silvério, D. V. & Bustamante, M. M. C. Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage. 458, 117804 (2020).

 $^{^{\}rm 38}$ Beerling, D. J. & Osborne, C. P. The origin of the savanna biome. Glob. Chang. Biol. 12, 2023–2031 (2006).

Quadro 1.

Estratégias evolutivas das plantas do Cerrado ao fogo e à seca

As plantas e o fogo têm uma longa história evolucionária³⁹. Estudos usando registros fósseis mostram a ocorrência de queimadas há 420 milhões de anos, bem próximo ao surgimento das primeiras das plantas terrestres no período Siluriano⁴⁰. Já, para o Cerrado, os primeiros registros de queimadas ocorreram há mais de 32 mil anos⁴¹, bem antes dos registros da presença humana no Cerrado, há 11 mil anos⁴². Ou seja, tais incêndios eram naturais, geralmente iniciados por raios. Ao longo do tempo, a maioria das plantas do Cerrado desenvolveu adaptações ao fogo, bem como adaptações para lidar com excesso de luz, estresse por seca ou baixa concentração de nutrientes no solo⁴³. Assim, as plantas adaptadas ao fogo podem ser resistentes e/ou resilientes aos incêndios⁴⁴. Plantas resistentes têm características, morfológicas ou fisiológicas, que ajudam a prevenir a queima das partes vivas durante um incêndio⁴⁵. Por exemplo, essas plantas possuem a casca do tronco bem espessa, o que protege os tecidos internos das altas temperaturas das chamas, atuando como um isolante térmico⁴⁶. Já plantas resilientes são capazes de se recuperar rapidamente após a ocorrência de um incêndio⁴⁷. Por exemplo, essas plantas possuem raízes bem desenvolvidas, que armazenam grande quantidade de compostos de reserva, que são utilizados para o rebrotamento⁴⁸. Além disso, essas raízes podem ser profundas, aumentando a capacidade dessas plantas de captar água do solo durante o período seco⁴⁹. Outras adaptações, relacionadas à escassez hídrica, podem ser observadas nas folhas⁵⁰. Maior densidade de estômatos na parte de baixo da folha (face em espécies abaxial), pois, na parte de cima (face adaxial), a alta incidência de raios luminosos aumenta a transpiração e os estômatos na face abaxial fazem com que a planta tenha menor perda de água. Também a presença de cutícula espessa na superfície foliar, formada por um composto de lipídios chamado de cutina (substância impermeável), que atua como proteção contra a perda de água. A presença de tricomas (pêlos) diminui a perda de água por transpiração e incidência luminosa na planta. Algumas espécies arbóreo-arbustivas também perdem a cobertura da folhagem durante o período de escassez hídrica (essas são chamadas de decíduas e brevidecíduas) para diminuir a transpiração e evitar a perda de água⁵¹. Já espécies herbáceas e gramíneas reduzem a floração durante a seca⁵². Embora a vegetação de Cerrado possua diversas estratégias de sobrevivência, na história recente, ações antrópicas têm intensificado a freguência de fogo e provocado mudanças no clima. Desta forma, não é possível prever se todas as espécies conseguirão se adaptar às atuais e rápidas mudanças.

⁵² Munhoz, C. R. & Amaral, A. G. Efeito do fogo no estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado. in Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo (ed. Miranda, H. S.) 93–102 (IBAMA, 2010).



³⁹ BOND, W. J. What Limits Trees in C 4 Grasslands and Savannas? Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 39, 641–659 (2008).

⁴⁰ SCOTT, A. C. & Glasspool, I. J. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 103, 10861–10865 (2006).

⁴¹ Salgado-Labouriau, M. L. & Ferraz-Vincentini, K. R. Fire in the Cerrado 32,000 years ago. Curr. Res. Pleistocene 11, 85–87 (1994).

⁴² NEVES, W. A. & Piló, L. B. O povo de Luzia. (Ed. Globo, 2008).

⁴³ Simon, M. F. & Pennington, T. Evidence for Adaptation to Fire Regimes in the Tropical Savannas of the Brazilian Cerrado. Int. J. Plant Sci. 173, 711–723 (2012).

⁴⁴ Hoffmann, W. A. et al. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. Ecology 90, 1326–1337 (2009).

⁴⁵ Gomes, L. et al. Long-term post-fire resprouting dynamics and reproduction of woody species in a Brazilian savanna. Basic Appl. Ecol. 56, 58–71 (2021).

⁴⁶ Miranda, H. S., Neto, W. N. & Castro-Neves, B. M. Caracterização das queimadas de Cerrado. in Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo (ed. Miranda, H. S.) 23–33 (IBAMA, 2010).
⁴⁷ GOMES, 2021

⁴⁸ Gomes, 2021

⁴⁹ Hoffmann, W. A. & Franco, A. C. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. J. Ecol. 91, 475–484 (2003).

⁵⁰ Simon, M. F. & Pennington, T. Evidence for Adaptation to Fire Regimes in the Tropical Savannas of the Brazilian Cerrado. Int. J. Plant Sci. 173, 711–723 (2012).

⁵¹ Lenza, E. & Klink, C. A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. Rev. Bras. Botânica 29, 627–638 (2006).

4. Biodiversidade e **Funcionamento dos Ecossistemas**

Apesar do Cerrado ser um bioma rico em espécies, o desmatamento, o aumento da temperatura, a redução da precipitação e os frequentes incêndios trazem graves biodiversidade problemas funcionamento dos ecossistemas⁵³. Estima-se que, até 2050, ocorrerá a extinção de 397 espécies de plantas endêmicas devido à perda desmatamento⁵⁴. habitat pelo Mundialmente, cerca de 4% das espécies de vertebrados e 8% das espécies de plantas serão extintas caso a temperatura do planeta aumente 1,5°C, e, se aumentar mais 0,5°C, chegando a 2°C, essa porcentagem se tornará ainda maior, entre 8% e 16%55. As ações antrópicas estão eliminando essas espécies antes mesmo de que os benefícios possam ser conhecidos e explorados.

Impactos potenciais das mudanças climáticas e do aumento da frequência de fogo também são previstos no equilíbrio entre os estratos vegetais arbóreo, arbustivo e herbáceo do Cerrado⁵⁶. Espera-se uma maior dominância do estrato herbáceo em áreas com incêndios frequentes, pois as espécies de porte herbáceo podem crescer mais rápido que as espécies arbóreas e arbustivas, dependendo das condições do ambiente. Estima-se que o estrato herbáceo recupera sua biomassa inicial antes do fogo em torno de um ano⁵⁷, enquanto que o estrato arbóreo-arbustivo poderia levar de 17-65 anos, dependendo do diâmetro do tronco⁵⁸. A ocorrência de fogo torna o ambiente mais exposto às radiações solares, o que aumenta a dominância de gramíneas, que são fortes competidoras nesses ambientes⁵⁹.

Por exemplo, tem sido demonstrada a dominância da gramínea africana Melinis minutiflora (capimgordura), que é uma invasora extremamente competitiva que pode reduzir a biomassa de outras espécies do estrato herbáceo⁶⁰.

A diminuição das chuvas e o aumento da estação seca também têm impacto potencial sobre plantas lenhosas (árvores e arbustos) com diferentes estratégias para reduzir a perda de água⁶¹. As espécies sempre verdes (ou seja, aquelas que não perdem suas folhas durante a estação seca) poderiam ser prejudicadas se a escassez hídrica do solo durante a estação seca for insuficiente para manter as folhas. As espécies brevidecíduas e decíduas (aquelas que perdem parcial ou totalmente suas folhas durante a estação seca) também poderiam efeitos negativos, devido prolongamento do período de seca. Além disso, muitas espécies lenhosas no Cerrado florescem durante setembro e outubro⁶², sendo esse o período em que as mudanças climáticas regionais se tornam mais pronunciadas⁶³. Nesse caso, as plantas poderiam avançar ou atrasar seu período reprodutivo, como observado em Malpighiaceae no Cerrado, espécies de monitoradas por 10 anos, em que as variações de temperatura e precipitação resultaram em mudanças no período de floração, influenciando também seus polinizadores⁶⁴. Outro fato é que a conversão extensa e as poucas áreas protegidas podem impactar as possibilidades de migração da fauna, bem como o encontro de áreas de refúgio durante a ocorrência de incêndio⁶⁵. Todas essas mudanças provocam grandes incertezas sobre a manutenção do sucesso reprodutivo dessas espécies no futuro.

<sup>Klink, C. a. & Machado, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. Conserv. Biol. 19, 707–713 (2005).
Strassburg, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado. Science (80-.). 1, 1–3 (2017).
PCC. Global Warming of 1.5°C. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, (Cambridge University Press, 2022). doi:10.1017/9781009157940
Bustamante, M. et al. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. Brazilian J. Biol. 72, 655–671 (2012).
Gomes, L. et al. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. Front. For. Glob. Chang. 3, 507710 (2020).
Gomes, L. et al. Long-term post-fire resprouting dynamics and reproduction of woody species in a Brazilian savanna. Basic Appl. Ecol. 56, 58–71 (2021).
Bond, W. J. What Limits Trees in C 4 Grasslands and Savannas? Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 39, 641–659 (2008).
Martins (2011) e Silva (2007).
Bustamante, M. et al. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. Brazilian J. Biol. 72, 655–671 (2012).
Hofmann (2021) e Lenza (2006).
Hofmann (2021).</sup>

Gomes (2021) e Leiza (2009).
 Hofmann (2021).
 Vilela, A. A., Del Claro, V. T. S., Torezan-Silingardi, H. M. & Del-Claro, K. Climate changes affecting biotic interactions, phenology, and reproductive success in a savanna community over a 10-year period. Arthropod. Plant. Interact. 12, 215–227 (2018).
 Henriques, R. B. Efeito do fogo na fauna de mamíferos do Cerrado. in Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo (ed. Miranda, H. S.) 133–144 (IBAMA, 2010).

5. Possíveis Soluções



6. Referências

BEERLING, D. J. & Osborne, C. P. The origin of the savanna biome. Glob. Chang. Biol. 12, 2023–2031 (2006).

BOND, W. J. What Limits Trees in C 4 Grasslands and Savannas? Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 39, 641–659 (2008).

BOWMAN, D. M. J. S. et al. Fire in the Earth System. Science (80-.). 324, 481–484 (2009).

BUSTAMANTE, M. et al. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. Brazilian J. Biol. 72, 655–671 (2012).

GOMES, L. et al. Long-term post-fire resprouting dynamics and reproduction of woody species in a Brazilian savanna. Basic Appl. Ecol. 56, 58–71 (2021).

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. 82, 519–531 (1994).

KLINK, C. a. & Machado, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. Conserv. Biol. 19, 707–713 (2005).

KLINK, C. A., Sato, M. N., Cordeiro, G. G. & Ramos, M. I. M. The role of vegetation on the dynamics of water and fire in the cerrado ecosystems: Implications for management and conservation. Plants 9, 1–27 (2020).

HOFFMANN, G. S. et al. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. Glob. Chang. Biol. 27, 4060–4073 (2021).

HOFFMANN, W. A. & Franco, A. C. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. J. Ecol. 91, 475–484 (2003).

HOFFMANN, W. A. et al. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. Ecology 90, 1326–1337 (2009).

IPCC. Global Warming of 1.5°C. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, (Cambridge)

GOMES, L. et al. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. Front. For. Glob. Chang. 3, 507710 (2020).

GOMES, L., Miranda, H. S., Silvério, D. V. & Bustamante, M. M. C. *Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage.* 458, 117804 (2020).

LENZA, E. & Klink, C. A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Rev. Bras. Botânica* 29, 627–638 (2006).

MARTINS, C. R. et al. Impacto da invasão e do manejo do capim-gordura (Melinis minutiflora) sobre a riqueza e biomassa da flora nativa do Cerrado sentido restrito. Rev. Bras. Botânica 34, 73–90 (2011).

MIRANDA, H. S., Neto, W. N. & Castro-Neves, B. M. Caracterização das queimadas de Cerrado. in *Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo* (ed. Miranda, H. S.) 23–33 (IBAMA, 2010).

MUNHOZ,, C. R. & Amaral, A. G. Efeito do fogo no estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado. in *Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo* (ed. Miranda, H. S.) 93–102 (IBAMA, 2010).

NEVES, W. A. & Piló, L. B. O povo de Luzia. (Ed. Globo, 2008).

University Press, 2022). doi:10.1017/9781009157940



- OLIVEIRA, U. et al. Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage. 482, 118889 (2021).
- OLIVEIRA, U. et al. Determinants of Fire Impact in the Brazilian Biomes. 5, 1–12 (2022).
- PAIVA, A. O., Rezende, A. V. & Pereira, R. S. Estoque de carbono em cerrado Sensu stricto do Distrito Federal. *Rev. Arvore* 35, 527–538 (2011).
- REATTO, A., Correira, J. R., Spera, S. T. & Martins, E. S. Solos do Bioma Cerrado. in *Cerrado: ecologia e flora* (eds. Sano, S. M., Almeida, S. P. & Ribeiro, J. P.) 109–133 (Embrapa, 2010).
- RIBEIRO, J. F. & Walter, B. M. As *Principais Fitofisionomias do bioma Cerrado. in Cerrado: Ecologia e Flora* (eds. Sano, S. M., Almeida, S. P. & Ribeiro, J. F.) 151–199 (Embrapa Cerrados, 2008).
- ROCHA, G. F., Ferreira, L. G., Ferreira, N. C. & Ferreira, M. E. Detecção de desmatamento no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, Tendência e Impactos. *Rev. Bras. Cartogr.* 63, 341–349 (2011).
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. & Ferraz-Vincentini, K. R. Fire in the Cerrado 32,000 years ago. *Curr. Res. Pleistocene* 11, 85–87 (1994).
- SANO, E. E., Rosa, R., Brito, J. L. S. & Ferreira, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. Environ. Monit. Assess. 166, 113–124 (2010).
- SANO, E. E. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. J. Environ. Manage. 232, 818–828 (2019).
- SANO, E. E., Rosa, R., Luís, J., Brito, S. & Ferreira, G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 43, 153–156 (2008).
- SEEG. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. (Observatório do Clima, 2020).
- SEEG. Nota Metodológica SEEG 9 Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas. 76 (2021).
- SCOTT, A. C. & Glasspool, I. J. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 103, 10861–10865 (2006).
- SILVA, P. S., Bastos, A., Libonati, R., Rodrigues, J. A. & DaCamara, C. C. *Impacts of the 1.5°C global warming target on future burned area in the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage.* 446, 193–203 (2019).
- SILVA, J. S. O. & Haridasan, M. Acúmulo de biomassa aérea e concentração de nutrientes em Melinis minutiflora P. Beauv. e gramíneas nativas do cerrado. *Rev. Bras. Botânica* 30, 337–344 (2007).
- SIMON, M. F. & Pennington, T. Evidence for Adaptation to Fire Regimes in the Tropical Savannas of the Brazilian Cerrado. Int. J. Plant Sci. 173, 711–723 (2012).
- STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado. Science (80-.). 1, 1–3 (2017).
- VILELA, A. A., Del Claro, V. T. S., Torezan-Silingardi, H. M. & Del-Claro, K. *Climate changes affecting biotic interactions, phenology, and reproductive success in a savanna community over a 10-year period. Arthropod. Plant. Interact.* 12, 215–227 (2018).



Expediente

Autoras: Leticia Gomes e Mercedes Bustamante

Edição: Tatiane Matheus

Revisão: Maria Luiza de Mello Stiepcich

Revisão técnica: Shigueo Watanabe

Diagramação e infográficos: Guilherme Boschi

Fotos: Leticia Gomes

Gerência administrativa-financeira: Renata Rodriguez

Direção-executiva: Délcio Rodrigues

Realização: Instituto ClimaInfo

Apoio: Programa SPIPA (*Strategic Partnerships for the Implementation of the Paris Agreement*) através do Instrumento de Parceria da União Europeia e do Ministério





of the Federal Republic of Germany

Federal Alemão para o Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU), no contexto da Iniciativa Climática Internacional (IKI).

