Diferentes atributos governam a resiliência ao fogo em fisionomias campestres úmidas e secas do Cerrado?

Palavras-Chave: ecologia do fogo, ecologia funcional, ecossistemas abertos

Autores(as):

Vinicius Felix Cardozo-Martins (bolsista), IB/UNICAMP

Camila Thais Reis Freire (coautora), Yale University

Maria Júlia de Oliveira Alves da Silva (coautora), IB/UNICAMP

Bruna Helena de Campos (coautora), Instituto de Pesquisas Ambientais

Giselda Durigan, Instituto de Pesquisas Ambientais

Prof.ª Dr.ª Natashi Pilon (orientadora), IB/UNICAMP

INTRODUÇÃO

O fogo é um distúrbio natural nos ecossistemas abertos tropicais, tendo relação com os processos ecológicos e a história evolutiva desses sistemas (Bond & Keeley, 2005). Tal fenômeno só é possível devido às características estruturais dessas paisagens, como o acúmulo de biomassa seca e uma camada contínua de gramíneas, garantindo a ignição a partir de raios oriundos das chuvas na transição entre a estação seca e a úmida (Newberry et al., 2020). Tanto as características estruturais da vegetação quanto a sazonalidade demarcada nesses sistemas resultam em um regime de fogo característico para essas fitofisionomias: pouco frequente e de baixa residência (Pivello et al., 2021; Keeley et al., 2011). As mudanças físicas promovidas pelo fogo, como a eliminação da biomassa seca acumulada, criam um nicho de regeneração para muitas espécies, demarcado pelo aumento da disponibilidade de luz, de solo exposto e de nutrientes (a partir da deposição de cinzas) (Siebert & Dreber, 2019; Coutinho, 1990). Ainda, as espécies componentes dos campos e savanas contam com adaptações que permitem a rápida recuperação após o fogo, como a capacidade de rebrotarem a partir de gemas protegidas em estruturas subterrâneas (Pilon et al., 2021; Pausas et al., 2018; Clarke et al., 2013) ou por bainhas foliares características das gramíneas e ciperáceas cespitosas (Linder et al., 2018). Tais adaptações juntamente ao pico na disponibilidade de recursos garantem que um campo queimado consiga recuperar sua cobertura vegetal e composição de espécies meses após a queima (Pilon et al., 2021). Essa dinâmica caracteriza essas fitofisionomias como resilientes ao fogo, e os sistemas aos quais pertencem — como o domínio Cerrado, no Brasil — como dependentes deste.

Contudo, os estudos visando entender a ecologia de ecossistemas pirofíticos tropicais raramente levam em consideração as fisionomias campestres e o estrato herbáceo-graminóide, tendendo a focar apenas nos atributos que garantem resiliência às espécies lenhosas (Massi & Franco, 2016; Medeiros & Miranda, 2008). Esses sistemas abertos com maior densidade lenhosa passam por regimes de fogo distintos daqueles onde predomina o estrato rasteiro, como os campos (Trollope et al., 2002), o que leva à seleção de mecanismos de resiliência distintos (Souchie et al., 2017; Lawes et al., 2011). Mesmo quando levados em consideração, os estudos geralmente olham para as fisionomias secas (Pilon et al., 2021; Miranda et al., 2009), desconsiderando ecossistemas campestres úmidos, que passam por regimes de fogo diferentes, caracterizados principalmente pela menor intensidade do fogo (Schmidt et al., 2017). Os filtros ambientais atuantes nesses campos são distintos (e.g. saturação hídrica do solo, efeito da estação seca, regime de fogo) (Ribeiro et al., 2021; Schmidt et al., 2017), sendo esperado que as espécies apresentem diferentes atributos que garantam a resiliência do ecossistema frente ao fogo quando comparados. Diante desse cenário, neste estudo visamos elucidar e contrastar os mecanismos

que garantem a resiliência de diferentes fisionomias campestres do Cerrado a distúrbios naturais com base na análise de atributos funcionais chave.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo: Os dados desse estudo foram coletados em duas fitofisionomias campestres distintas no Cerrado. As coletas de campo seco foram realizadas na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), localizada no município Águas de Santa Bárbara, São Paulo, Brasil (-22.784742, -49.240457). Já as coletas de campo sazonalmente úmido foram realizadas na Fazenda Almécegas, região do Vale Verde (VV), Chapada dos Veadeiros, no munícipio Alto Paraíso de Goiás, Goiás, Brasil (-14.194203, -47.569669). A temperatura média anual em ambas as áreas fica em torno de 20 ºC. Os solos encontrados nas fisionomias campestres secas são predominantemente latossolos com alta concentração de alumínio, enquanto o dos campos sazonalmente úmidos são hidromórficos com alto teor de matéria orgânica. Mesmo que coletados em anos distintos, as duas áreas de estudo estavam a pelo menos 5 anos sem fogo no momento da amostragem da comunidade vegetal.

Caracterização do banco de dados: Para as análises, utilizamos um extenso banco de dados contendo informações coletadas à nível de comunidade nas duas fisionomias estudadas. A coleta foi possível devido ao financiamento de projetos pela FAPESP (processos nº 16/17888-2, 20/09257-8, 19/07773-1 e 20/01378-0). No total, foram analisadas 80 parcelas (40 em campo seco na EEcSB e 40 em campo sazonalmente úmido no VV). Ao final, o conjunto de dados reúne as espécies e os atributos que refletem adaptações ao fogo: 1) estrutura subterrânea de rebrota; 2) estratégia de colonização após fogo (se por rebrota ou germinação), 3) forma de crescimento. A procura por atributos faltantes e inconsistências foi feita consultando bibliografia relacionada à ecologia do fogo (e.g. Dairel & Fidelis, 2020, Pilon et al., 2020; Durigan et al., 2018; Pausas et al., 2018, entre outros), seguida por consulta a bancos de dados como o *Species link* (disponível em <http://splink.cria.org.br/>.) e o Flora e Funga do Brasil. Para a análise, retiramos as espécies não-nativas e, também, as espécies com microendemismo para a área em que foram coletadas, visando ganhar escala no estudo, nos garantindo a possibilidade de extrapolar os resultados para os demais campos do Cerrado.

Análise de dados: Para analisarmos os atributos relacionados à regeneração após o fogo nas fitofisionomias, aplicamos análise de agrupamento (*cluster*), utilizando de algoritmo para distância de Gower com método de associação por Ward (função *hclust* do pacote Vegan R, argumento “ward.D2” (Oksanen et al., 2017)). Em seguidas, realizamos análise de correspondência múltipla (MCA), utilizando o pacote FactoMineR (Le, Josse & Husson, 2008) para validação dos grupos extraídos da análise por agrupamento. Ambas as análises foram realizadas apenas sobre as espécies para as quais conseguimos informações sobre os 3 atributos, resultando em 226 espécies.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Discriminamos 5 grandes grupos funcionais (coeficiente de silhouette = 0,47) (Figura 1, 2A). Em G1, encontramos todas as espécies que se regeneram por germinação após o fogo (*seeders*), majoritariamente herbáceas e sem estrutura subterrânea desenvolvida (*root,* raiz comum). Quanto a G2, G3, G4 e G5, observamos as espécies cuja estratégia de regeneração se dá por rebrota (*resprouters*), com G2 concentrando todas as espécies com rizoma não-lignificado. Esse grupo apresenta tamanho maior em relação aos demais grupos, uma vez que agrega todas as gramíneas e ciperáceas rizomatosas, ambas famílias representativas das fisionomias campestres. Já G3 concentra as espécies herbáceas não-rizomatosas, com os mais variados tipos de estruturas subterrâneas, com destaque para os xilopódios e raízes tuberosas. G4 caracteriza-se por apresentar subarbustos com estrutura subterrânea lignificada, principalmente xilopódios e sóboles. G4 e G5 são muito semelhantes, mas se diferenciam pela forma de crescimento das espécies componentes, com G5 reunindo todos os arbustos, árvores e trepadeiras lenhosas. Ainda, G5 possui apenas espécies com estruturas subterrâneas lignificadas.

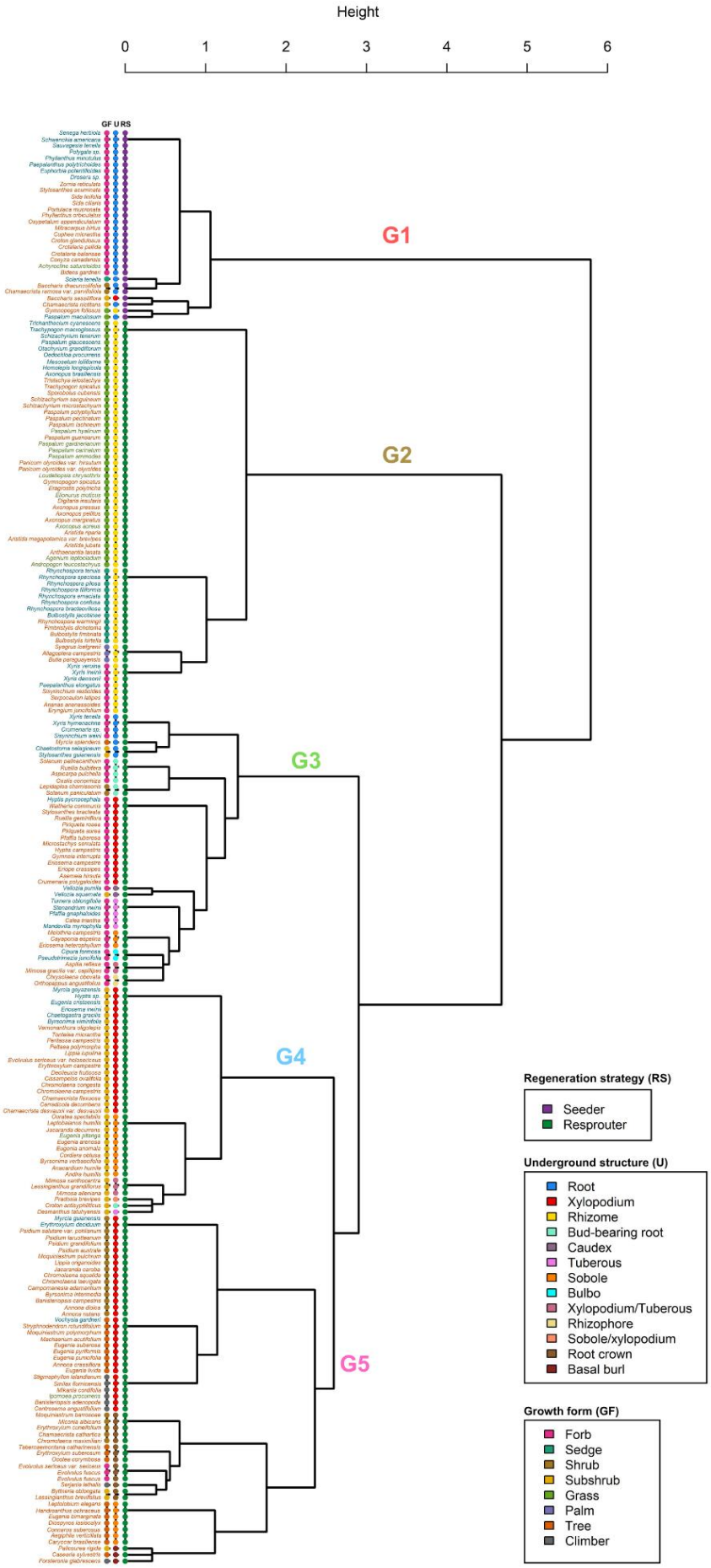

Figura 1: Agrupamento de espécies das fitofisionomias campestres à partir dos atributos funcionais relacionados à regeneração pós-fogo (forma de crescimento (GF), estrutura subterrânea (U) e estratégia de regeneração (RS). A coloração diferente no nome das espécies indica a área em que foram amostradas, sendo azul: espécies amostradas em campo sazonalmente úmido; laranja: espécies amostradas em campo seco; e verde: espécies amostradas em ambas as áreas. Para visualização em maior resolução, clique aqui

Ao olharmos para o posicionamento e distribuição das espécies componentes dos campos sazonalmente úmidos no dendrograma (Figura 1), podemos notar que estas se concentram nos grupos G1, G2 e G3 (85,1 % das espécies), sendo em sua maior parte espécies do estrato herbáceo-graminóide rebrotadoras a partir de estruturas subterrâneas não lignificadas (61,2 % das espécies). Isso contrasta bastante com as espécies de campo seco, que são bem distribuídas em todos os grupos e dominantes em G4 e G5.

Ao buscar validar os cinco grupos com a MCA, encontramos bastante sobreposição entre G4 e G5, o que pode ser explicado pelo compartilhamento de tipos de estruturas subterrâneas (Figura 2B). G2 e G3 ficam ambos bem agrupados, com destaque para G2 isolado em posição oposta ao conjunto G4 e G5, por apresentar tanto forma de crescimento quanto estruturas subterrâneas sem grau de lignificação. As espécies componentes de G1, em sua maioria, ficam separadas dos demais grupos, mas distantes entre si. Acreditamos que a análise com um maior número de atributos relacionados à regeneração pós-fogo poderia contribuir para a separação mais clara dos grupos.

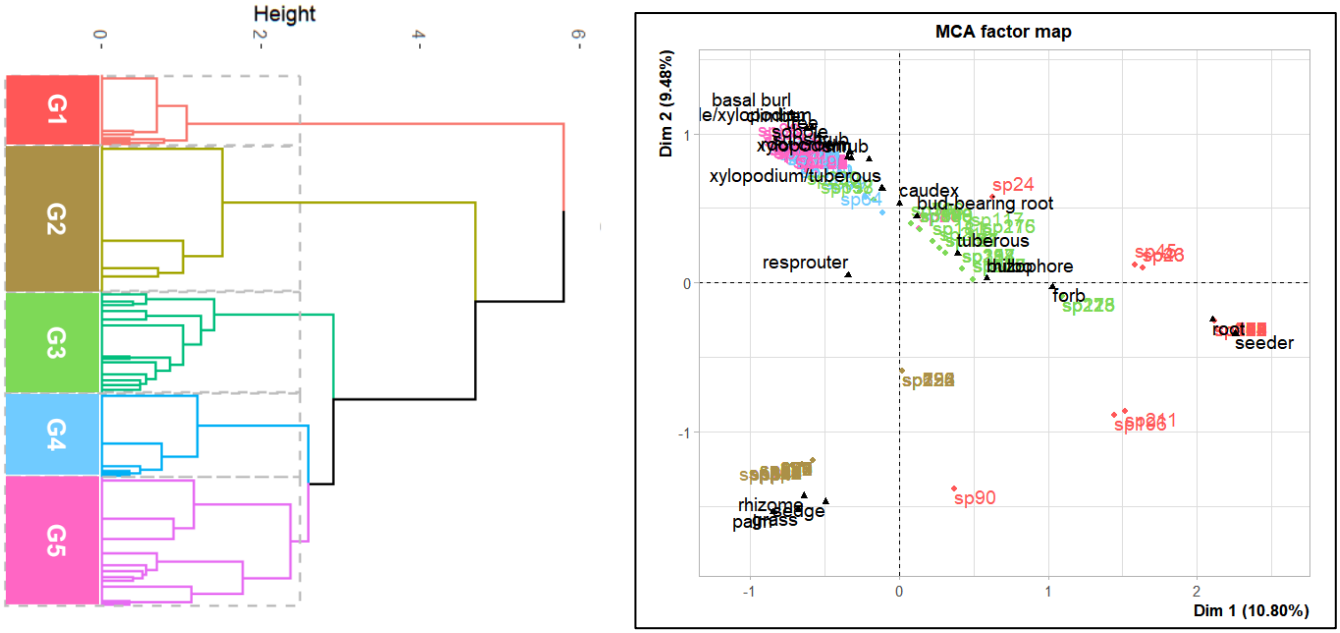

Figura 2: (*A*) Dendrograma com 5 grupos funcionais à partir da análise por agrupamento. (*B*) Análise de correspondência múltipla (MCA) dos grupos obtidos à partir da análise por agrupamento. As espécies na figura B são representadas pela mesma cor do grupo funcional a qual pertecem na figura A.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo nos mostram que, mesmo compartilhando muitos atributos de resiliência ao fogo, os campos secos e sazonalmente úmidos diferem quanto à diversidade funcional na regeneração pós-queima. As diferenças nos regimes de fogo, principalmente na intensidade, fazem com que as espécies de campos secos invistam mais na lignificação de suas estruturas subterrâneas. Já a saturação hídrica do solo nos campos úmidos (sazonais ou não) parece impor um filtro ambiental adicional para a seleção dos atributos das espécies de uma comunidade. Os resultados também mostram que a rebrota é a principal estratégia de regeneração para os campos do Cerrado, presente em todas as formas de crescimento e a partir de uma série de estruturas subterrâneas. Esperamos que os resultados auxiliem na compreensão dos mecanismos que asseguram a resiliência de fisionomias campestres ao fogo, contribuindo para as estratégias de conservação — ao fornecer subsídios para um manejo do fogo que considere a biodiversidade, visando a funcionalidade do sistema — e restauração, ao evidenciar grupos funcionais estratégicos para a restauração de ecossistemas pirofíticos.

BIBLIOGRAFIA

BOND, William J.; KEELEY, Jon E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 7, p. 387–394, 1 jul. 2005.

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

COUTINHO, L. M. Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado. *In*: GOLDAMMER, Johann Georg (Org.). **Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1990. p. 82–105.

DAIREL, Mariana; FIDELIS, Alessandra. How does fire affect germination of grasses in the Cerrado? **Seed Science Research**, v. 30, n. 4, p. 275–283, dez. 2020.

DURIGAN, G. et al. **Plantas pequenas do cerrado : biodiversidade negligenciada.** 1.ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2018

KEELEY, Jon *et al.* Fire in Mediterranean Ecosystems; Ecology, Evolution and Management. **Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management**, p. 1–515, 1 jan. 2011.

LAWES, Michael J. *et al.* Bark thickness determines fire resistance of selected tree species from fire-prone tropical savanna in north Australia. **Plant Ecology**, v. 212, n. 12, p. 2057–2069, 1 dez. 2011.

LÊ, Sébastien; JOSSE, Julie; HUSSON, François. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, p. 1–18, 18 mar. 2008.

LINDER, H. P. *et al.* Global grass (Poaceae) success underpinned by traits facilitating colonization, persistence and habitat transformation. **Biological Reviews**, v. 93, n. 2, p. 1125–1144, 2018.

MASSI, Klécia Gili; FRANCO, Augusto César. How does resprouting response differ among three species of savanna trees and in relation to plant size? **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, p. 693–699, dez. 2016.

MEDEIROS, Marcelo; MIRANDA, Heloísa. Post-fire resprouting and mortality in Cerrado woody plant species over a three-year period. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 65, p. 53–68, 1 mar. 2008.

MISTRY, Jayalaxshmi. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 22, n. 4, p. 425–448, 1 dez. 1998.

NEWBERRY, Brooklynn M. *et al.* Flammability thresholds or flammability gradients? Determinants of fire across savanna–forest transitions. **New Phytologist**, v. 228, n. 3, p. 910–921, 2020.

OKSANEN, Oksanen *et al.* **vegan: Community Ecology Package**. The R Foundation, 2017. Disponível em: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1883399491354855552>.

PAUSAS, Juli G. *et al.* Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. **New Phytologist**, v. 217, n. 4, p. 1435–1448, 2018.

PILON, Natashi A. L. *et al.* The diversity of post-fire regeneration strategies in the cerrado ground layer. **Journal of Ecology**, v. 109, n. 1, p. 154–166, 2021.

PIVELLO, Vânia R. *et al.* Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233–255, 1 jul. 2021.

RIBEIRO, Jonathan W. F. *et al.* The distinct roles of water table depth and soil properties in controlling alternative woodland-grassland states in the Cerrado. **Oecologia**, v. 195, n. 3, p. 641–653, 1 mar. 2021.

SCHMIDT, Isabel B. *et al.* How do the wets burn? Fire behavior and intensity in wet grasslands in the Brazilian savanna. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 1, p. 167–175, 1 mar. 2017.

SIEBERT, Frances; DREBER, Niels. Forb ecology research in dry African savannas: Knowledge, gaps, and future perspectives. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 13, p. 7875–7891, 2019.

SOUCHIE, Fabiane Furlaneto *et al.* Post-fire resprouting strategies of woody vegetation in the Brazilian savanna. **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, p. 260–266, jun. 2017.

TROLLOPE, W. S. W.; TROLLOPE, L. A.; HARTNETT, D. C. **Forest Fire Research and Wildland Fire**. [s.l.] Millpress, Rotterdam Netherlands, 2002. p. 204-218, 2002.