

FÁBIO STEINER | ORG.

PLANT ABIOTIC STRESS TOLERANCE



Pantanal Editora

2020

Fábio Steiner
(Organizador)

PLANT ABIOTIC STRESS TOLERANCE



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora
Edição de Arte: A editora e Canva.com
Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandris ArgenteL-Martínez – Tec-NM (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI
- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI

- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P713	Plant Abiotic Stress Tolerance [recurso eletrônico] / Organizador Fábio Steiner. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 149p.
	Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-88319-02-4 DOI https://doi.org/10.46420/9786588319024
	1. Ecologia e Recursos Naturais (Ecofisiologia vegetal). 2. Meio ambiente – Conservação. 3. Sustentabilidade. I. Steiner, Fábio.
	CDD 581.5
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Plant Abiotic Stress Tolerance”, uma publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus 9 capítulos, uma ampla gama de assuntos sobre os recentes avanços e conhecimentos científicos nas áreas de ecofisiologia da produção vegetal e conservação dos recursos naturais e meio ambiente. Os temas abordados mostram algumas das ferramentas atuais que permitem o incremento da produção de alimentos, a melhoria da qualidade de vida da população, e a preservação e a sustentabilidade dos recursos disponíveis no planeta. A obra, vem a materializar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados e conhecimentos, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

Nas últimas décadas, a produção de alimentos tem sido frequentemente limitada por inúmeros fatores de estresse abióticos, dentre os quais, podemos citar a baixa disponibilidade de água (deficiência hídrica), temperaturas extremas (frio, geadas, calor e fogo), salinidade, deficiência de nutrientes minerais e toxicidade. Esses fatores são responsáveis por consideráveis perdas econômicas tanto para os pequenos agricultores quanto para os produtores de commodities como a cultura da soja, entre outras. Além disso, estes danos podem ser potencialmente agravados pelos efeitos das recentes mudanças climáticas globais, sendo, portanto, a sua mitigação um grande desafio para a comunidade científica. O foco principal das pesquisas abordadas neste e-book é compreender os mecanismos de defesa/tolerância dos estresses abióticos em plantas e apresentar tecnologias e práticas de manejo que possibilitem o aumento da tolerância das plantas a esses estresses abióticos.

Temas associados à identificação de cultivares de soja tolerantes à seca e o manejo da salinidade e da restrição hídrica nas culturas de soja, amendoim e pepino são abordados. A tolerância de plantas de pinhão-manso a toxicidade do alumínio (Al³⁺), a tolerância de quatro espécies hortícolas ao estresse térmico causado por altas temperaturas e a tolerância de mutantes de trigo ao estresse salino também é sugerido. Na área de recursos naturais é mostrado os efeitos fitotóxicos dos metais pesados nas plantas cultivadas e o estresse ambiental causado pelo fogo na região do Cerrado. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas áreas de ecofisiologia da produção vegetal e conservação dos recursos naturais e meio ambiente, os agradecimentos do Organizador e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este e-book possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Fábio Steiner

PRESENTATION

The eBook “Plant Abiotic Stress Tolerance”, a publication by Pantanal Editora, presents in its 9 chapters a wide range of questions about recent advances and scientific knowledge in the areas of ecophysiology of plant production and conservation of natural resources and the environment. The topics presented show some of the current tools that allow the increase in food production, the improvement of quality of life in people's and the preservation and sustainability of the resources available on the planet. This eBook materializes Editora Pantanal's desire to disseminate results and knowledge, which directly contribute to the development of society.

In the last decades, food production has often been limited by numerous abiotic stress factors, among which, we can mention the low availability of water (water deficit), extreme temperatures (cold, frosts, heat and fire), salinity, mineral nutrient deficiency and toxicity. These factors are responsible for considerable economic losses, both for small farmers and for producers of commodities such as soybean, among others. In addition, these damages can potentially be aggravated by the effects of recent global climate changes, and therefore, mitigating these damages is a major challenge for the scientific community. The main objective of the research presented in this e-book is to understand the defense or tolerance mechanisms of abiotic stresses in plants and to present technologies and management practices that enable greater tolerance of plants to these abiotic stresses.

Topics associated with the identification of drought-tolerant soybean cultivars and the management of salinity and water restriction in soybean, peanut and cucumber crops are presented. The tolerance of physic nut plants to aluminum toxicity (Al^{3+}), the tolerance of four vegetable species to heat stress caused by high temperatures and the tolerance of wheat mutants to salt stress is also suggested. In the area of natural resources, the phytotoxic effects of heavy metals on plant growth and the environmental stress caused by fire in the Cerrado region are shown. Therefore, this knowledge can add much to its readers who seek to promote quantitative and qualitative improvements in food production and, or improve the quality of life in society. Always in search of the planet's sustainability.

To the authors of the chapters, for their dedication and efforts, that made this eBook possible, which exposes the recent scientific and technological advances in the areas of ecophysiology of plant production and conservation of natural resources and the environment, thanks to the Organizer and Pantanal Editora.

Finally, we hope that this e-book can collaborate and instigate more students and researchers in the constant search for new technologies. Thus, ensuring an easy and quick dissemination of knowledge to society.

Fábio Steiner

PRESENTACIÓN

El trabajo “Plant Abiotic Stress Tolerance”, publicación de Pantanal Editora, presenta, en sus 9 capítulos, una amplia gama de temas sobre avances recientes y conocimientos científicos en las áreas de ecofisiología de la producción vegetal y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Los temas tratados muestran algunas de las herramientas actuales que permiten el aumento de la producción de alimentos, la mejora de la calidad de vida de la población y la preservación y sostenibilidad de los recursos disponibles en el planeta. El trabajo materializa el afán de Editora Pantanal por difundir resultados y conocimientos, que contribuyan directamente al desarrollo humano.

En las últimas décadas, la producción de alimentos se ha visto a menudo limitada por numerosos factores de estrés abiótico, entre los que podemos mencionar la baja disponibilidad de agua (deficiencia de agua), temperaturas extremas (frío, heladas, calor y fuego), salinidad, deficiencia, nutrientes minerales y toxicidad. Estos factores son responsables de considerables pérdidas económicas tanto para los pequeños agricultores como para los productores de commodities como la soja, entre otros. Además, estos daños pueden verse potencialmente agravados por los efectos de los cambios climáticos globales recientes y, por lo tanto, mitigarlos es un desafío importante para la comunidad científica. El foco principal de las investigaciones cubiertas en este libro electrónico es comprender los mecanismos de defensa / tolerancia contra el estrés abiótico en las plantas y presentar tecnologías y prácticas de manejo que permitan aumentar la tolerancia de las plantas a estos estreses abióticos.

Se abordan temas relacionados con la identificación de cultivares de soja tolerantes a la sequía y el manejo de la salinidad y la restricción hídrica en cultivos de soja, maní y pepino. También se sugiere la tolerancia de las plantas de frutos secos a la toxicidad del aluminio (Al^{3+}), la tolerancia de cuatro especies hortícolas al estrés por calor causado por las altas temperaturas y la tolerancia de los mutantes del trigo al estrés por sal. El área de recursos naturales muestra los efectos fitotóxicos de los metales pesados en las plantas cultivadas y el estrés ambiental causado por los incendios en la región del Cerrado. Por tanto, este conocimiento aportará mucho a sus lectores que buscan promover mejoras cuantitativas y cualitativas en la producción de alimentos y, o mejorar la calidad de vida en la sociedad siempre en busca de la sostenibilidad del planeta.

A los autores de los distintos capítulos, por su dedicación y esfuerzo irrestricto, que hizo posible este trabajo, que retrata los recientes avances científicos y tecnológicos en las áreas de ecofisiología de la producción vegetal y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, gracias a la Organización y a Pantanal Editora.

Finalmente, esperamos que este libro electrónico pueda colaborar e instigar a más estudiantes e investigadores en la búsqueda constante de nuevas tecnologías. De esta forma, se garantiza una fácil y rápida difusión del conocimiento a la sociedad.

Fábio Steiner


SUMÁRIO

Apresentação	5
Presentation	6
Presentación	7
Capítulo I	8
Selection indices to identify drought-tolerant soybean cultivars	8
Capítulo II	27
Identificação de cultivares de soja para tolerância à salinidade	27
Capítulo III	41
Co-inoculation of peanut with <i>Bradyrhizobium</i> and <i>Azospirillum</i> promotes greater tolerance to drought	41
Capítulo IV	55
Tolerancia de hortalizas al estrés térmico causado por las altas temperaturas	55
Capítulo V	69
Aluminum toxicity inhibits growth and nutrient uptake in physic nut plants	69
Capítulo VI	81
Potassium nitrate priming to induce salt stress tolerance in cucumber seeds	81
Capítulo VII	97
Respostas Ecofisiológicas de Plantas ao Lodo de Esgoto	97
Capítulo VIII	120
Efeito do fogo em plantas nativas do Cerrado: estresse ambiental <i>versus</i> resiliência	120
Capítulo IX	140
Modelo de desarrollo y tolerancia a la salinidad de mutantes de trigo cultivadas en condiciones Salinas	140
Índice Remissivo	149

Efeito do fogo em plantas nativas do Cerrado: estresse ambiental *versus* resiliência

Recebido em: 29/07/2020


Aceito em: 30/07/2020

 10.46420/9786588319024cap8


Julielen Zanetti Brandani^{1,2} 

Thayne Danieli Schmidt Zolin^{1,2} 

Thaisa Yuriko Kuboyama Kubota² 

Montcharles da Silva Pontes^{1,3} 

Shaline Séfara Lopes Fernandes^{1,2*} 

Laís de Lima Luqui¹ 

Etenaldo Felipe Santiago^{1,2*} 

INTRODUÇÃO

Ainda que o fogo seja um importante fator de promoção de estresse em plantas, existem comunidades que apresentam alto grau de tolerância ao fogo, estas são encontradas no domínio dos cerrados. O Cerrado é considerado *hotspot* de biodiversidade global por abrigar mais de 4.800 espécies de plantas e vertebrados endêmicos, situado numa área que abrange três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (43% da água superficial do Brasil).

O termo Cerrado é utilizado para designar o conjunto de ecossistemas (savanas, matas, campos e matas de galeria), que ocorrem no Brasil Central, ocupa 21% do território nacional, sendo considerado o segundo maior bioma em extensão e está presente nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal (Eiten, 1977; Ribeiro et al., 1981; Klink; Machado, 2005; Strassburg et al., 2017).

A riqueza do Bioma Cerrado está evidente na diversidade de ecossistemas que apresenta, sendo representada por um mosaico vegetacional, com formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo sujo, Campo limpo e Campo rupestre) (Brasil, 2009). A biodiversidade do Cerrado possibilita a utilização de recursos vegetais com potencial alimentício, madeireiro, medicinal, corticeiro, tintorial, frutífero, entre outros. Dessa forma, eleva sua importância não só na área ambiental, mas também social e econômica (Almeida et al., 1987; Chaves, 2001).

¹ Grupo de Estudos dos Recursos Vegetais – GERV.

² Dr(a). Docente Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS.

³ Doutorando(a) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais – PGRN.

*Autor para correspondência: felipe@uems.br

A cobertura florestal nativa, representada pelos diferentes biomas, como o Cerrado, vem sendo fragmentada, ao longo dos anos, a ceder espaço para culturas agrícolas, pastagens e para a ampliação dos perímetros urbanos (Tung et al., 2010). A diminuição das áreas de Cerrado aumenta o risco de extinções locais de espécies de animais e plantas ao reduzir as populações naturais, tornando-as mais suscetíveis ao desaparecimento em função de eventos naturais ou antrópicos. Nesse contexto, há uma grande discussão com relação ao “fogo”, que muitas vezes, é considerado o inimigo dos ecossistemas, mas que para muitos pesquisadores como Durigan (2016), relata o fogo como método de manejo indispensável na preservação do Cerrado.

O Cerrado já perdeu 88 milhões de hectares (Mha) (46%) de sua cobertura vegetal nativa e apenas 19,8% permanece inalterado; um quadro já grave com um cenário futuro ainda mais preocupante dada a expansão de novas fronteiras agrícolas alavancada por afrouxamento na fiscalização e cumprimento da legislação ambiental, pela baixa proteção legal e incentivos limitados à conservação, a extinção dessa biodiversidade pode ser acelerada (Strassburg et al., 2017). Cabe ressaltar que, atualmente a produção proveniente das culturas agrícolas anuais do Cerrado corresponde a 40% da produção total nacional, e esse protagonismo do Cerrado no agronegócio nacional deve continuar aumentando nas próximas duas décadas em razão da sua vocação para produção competitiva e em bases sustentáveis de grãos, oleaginosas, carnes e florestas (Bolfe et al., 2020).

Concomitantemente, preocupações referentes aos incêndios florestais ressurgiram fortemente em 2019 pelos incêndios criminosos na Amazônia brasileira, com repercussão em nível mundial, impulsionado pelo aumento das críticas às equivocadas políticas da pasta ambiental o governo federal se viu obrigado a adotar novas medidas como por exemplo, proibir o uso do fogo em todo país por um período de 60 dias, com algumas exceções, por meio do Decreto nº 9.997, 30 de agosto de 2019 (Brasil, 2019), medida ainda insuficiente frente aos cortes orçamentários à programas e projetos de pesquisa, negligência governamentais em relação ao aquecimento global, adoção do discurso anticientífico, e outras ações organizadas ou não, mas que resultam na baixa percepção social e política da importância da ciência, destacado por Baiardi (2017) como “neo-obscurantismo”.

O desenvolvimento de estudos e pesquisas é imprescindível para entender o efeito do fogo no Cerrado, se sua ocorrência é positiva ou negativa na conservação desse mosaico vegetacional com uma biodiversidade reconhecida mundialmente. Nesse sentido, buscou-se realizar uma revisão sobre a importância do fogo para o Cerrado, desde respostas fisiológicas desencadeadas em plantas nativas do Cerrado até sua influência na regeneração natural, com o intuito de discutir a resiliência da vegetação nativa ao fogo num cenário de pressão ambiental e potencial sinergismo entre fatores de estresse (Figura 1).



Figura 1. Fogo no Cerrado (A-Foto: Santiago E.F.), no Município de Dourados/MS em 2016, riscos à diversidade e às linhas de transmissão; e efeitos do fogo no Cerrado (B- Fonte: Elaborada pelos autores).

EFEITOS DO REGIME DO FOGO NO CERRADO

O fogo está entre os principais fatores considerados responsáveis pelos padrões e processos das comunidades de savanas (Felfili et al., 2005). Diversas características do Cerrado são encontradas numa curta distância, ou seja, numa grande área coberta de Cerrado é possível encontrar pequenos mosaicos de vegetação nativa totalmente distintos, um padrão determinado principalmente pelo tipo do solo e/ou ação do fogo (Coutinho, 1990).

No Cerrado, incêndios de origem antrópica podem desencadear perturbações quando não manejado de forma adequada e controlada, pois comumente tem sido utilizado para a renovação de pastagens, preparo do solo e também podem ocorrer por natureza incendiária (pontas de cigarro, etc);

ao passo que quando ocorre de forma natural, é considerado benéfico porque a vegetação nativa do Cerrado, principalmente as formações campestres e savânicas, possuem mecanismos de defesa, expressos de maneira geral no fenótipo das espécies, mesmo sem relação filogenética direta, como por exemplo cascas espessas dos troncos, proteção adicional em regiões meristemáticas, especializações em órgãos subterrâneos, para algumas arbóreas um caule tortuoso, que após a queima, rebrota rapidamente, atraindo diversos animais herbívoros em busca de forragem nova, entre outras (Figura 1).

Pesquisadores classificaram os ecossistemas naturais do mundo em associação com o fogo em: ecossistemas independentes do fogo, sensíveis ao fogo, e dependente de fogo (Hardesty et al., 2005). Os ecossistemas independentes do fogo, dificilmente o fogo ocorre porque as condições climáticas (ambiente muito seco, muito úmido ou muito frio) não favorecem ou porque não existe biomassa suficiente para ignição e/ou manutenção do fogo; os ecossistemas sensíveis ao fogo são prejudicados pelo fogo porque o mesmo interrompe os processos ecológicos, eliminando diversos indivíduos/espécies que não evoluíram sob essa força seletiva; e os ecossistemas dependentes de fogo evoluíram na presença de incêndios periódicos, apresentando certo grau de dependência destes, para a manutenção de processos ecológicos, sendo as espécies adaptadas ao fogo, distintas em grupos com alta e baixa inflamabilidade (poáceas e lenhosas respectivamente), e de modo geral resilientes ao fogo, uma vez que os incêndios são recorrentes (Hardesty et al., 2005; Pivello, 2011, Souza e Valle, 2019).

A partir dessa classificação, fica evidente que cada bioma brasileiro tem suas peculiaridades, e que estes não devem ser manejados da mesma forma, pois para o Cerrado o fogo é um fator importante para sua manutenção, ao passo que, para ecossistemas florestais característicos do Bioma Mata Atlântica e Amazônico, por exemplo, o fogo não é em nenhuma medida benéfico, e sim provoca perturbações na dinâmica dos processos ecológicos.

As plantas de Cerrado definitivamente são adaptadas ao fogo e algumas delas dependem do fogo para manter sua reprodução e sobrevivência (Durigan, 2020), e entre as características pirofíticas das espécies de cerrado está a forte suberização do tronco e galhos das árvores, permitindo isolamento térmico dos tecidos internos vivos desses órgãos e, portanto, a sobrevivência na chama em altas temperaturas (Coutinho, 1990).

Aspectos reprodutivos das espécies também refletem adaptação ao fogo. Sano e Almeida (1998) estudaram o efeito das altas temperaturas sobre as sementes de espécies arbóreas de baru (*Diperyx alata*) e de tingui (*Magonia pubescens*), verificaram que os embriões dessas sementes não foram afetados quando submetidos a 100 °C durante 10 minutos. Mas não houve germinação quando sementes de baru ficaram submetidas a 43 °C por um período mais prolongado e no caso da semente de tingui a temperatura constante de 41 °C em um período longo foi letal. Esses resultados sugerem que um choque rápido de temperatura alta não afeta a germinação, porém, temperatura alta por períodos prolongados é prejudicial

às sementes de espécies do Cerrado. Ainda que aspectos estruturais e/ou reprodutivos reflitam a adaptação das comunidades do Cerrado ao fator fogo, variações em sua frequência de ocorrência, associada a outros fatores de estresse ambiental implicam no sinergismo de fatores de estresse.

O conceito de sinergismo de estresse deve ser entendido como a ocorrência simultânea de fatores de estresse. Mesmo que uma planta ou comunidade de plantas apresente certo grau de tolerância aos fatores isolados, quando expostas a dois ou mais fatores de estresse distintos, durante um mesmo período de tempo, a capacidade de tolerância das espécies pode ser reduzida, sendo as questões de consumo de energia elemento chave para a consequente perda de resiliência (Hanlon, 1969; Santiago; Paoli, 2013).

A fragmentação florestal (e os efeitos derivados desta, como por exemplo, a redução da diversidade em seus diferentes níveis), implica em fator que somado ao aumento na frequência de fogo de origem antrópica, representa sinergismo de estresse.

Se por um lado o fogo de ocorrência natural, atua como ferramenta determinante das comunidades do Cerrado, sua ocorrência intensiva como forma de manejo dos solos ou por mera negligência de conduta, resultam em expressiva perda de alelos nas populações, tornando-as mais vulneráveis à processos como depressão endogâmica, expressa pelo aumento de alelos homozigotos devido ao cruzamento entre parentes (Costa; Scariot, 2003; Gonzáles et al 2019), suscetibilidade ao desenvolvimento de doenças, menor resistência às pressões de predação, contaminantes químicos dispersos a partir das áreas agricultáveis, entre outros.

Culturalmente, o regime do fogo no Cerrado tem feito parte da vivência de povos indígenas, que utilizavam o fogo para limpeza de caminhos, abrir áreas para cultivo, estimular o crescimento, floração, frutificação de algumas plantas, etc. (Pivello, 2011). Quando as queimadas são realizadas na forma de manejo de pastagens, geralmente são realizadas por habitantes locais da região e no final da tarde para reduzir os riscos de propagação e descontrole da ação (Coutinho, 1990). Durigan (2020) menciona que os avanços políticos e científicos relativos à importância do fogo no Cerrado, estão em xeque, dada a repercussão em nível mundial dos incêndios criminais na Amazônia em 2019, cabendo o entendimento não só à própria comunidade científica, mas também entre técnicos, formuladores de políticas e a sociedade como um todo que existe diferença entre incêndio natural e criminoso, pois o fogo é um fator natural para o Cerrado, e uma ameaça para as florestas tropicais, e que o uso sábio do fogo depende da compreensão dessa diferença.

O fogo pode e deve ser usado em ecossistemas que são adaptados, para assim, assegurar a ocorrência de processos ecológicos e sua biodiversidade, desde que, adotados regimes adequados de fogo ou abordagens tradicionais sustentáveis, ou seja, execução de programas de gerenciamento de

incêndio em áreas protegidas do Bioma Cerrado, baseando-se no conhecimento científico e no conhecimento empírico de povos tradicionais (Pivello, 2011).

Pesquisadores mencionam que estudos interdisciplinares e pesquisas prioritárias focadas na investigação dos processos mais sensíveis e resistentes ao fogo (Tabela 1), e nos que causam grandes impactos nos serviços ecossistêmicos, podem fornecer subsídios para compreensão da ecologia do fogo, e posteriormente no estabelecimento de políticas públicas em relação ao uso adequado do fogo no Cerrado para reduzir perdas e maximizar ganhos ecológicos, culturais e econômicos (Gomes et al., 2018).

Tabela 1. Estudos sobre o uso do fogo na adaptação de espécies do Bioma Cerrado. Fonte: Elaborado pelos autores.

Adaptação ao fogo no Cerrado	Referência
Acelera a transferência de nutrientes minerais da biomassa para o solo	Coutinho (1990)
O fogo queima o meristema apical da planta e ativa os meristemas secundários iniciando um crescimento em outra direção	Dias (1992)
O fogo pode estimular a floração de espécies plantas (não é regra)	Oliveira et al. (1996)
A frequência da queima é importante na dinâmica populacional das comunidades	Sarmiento et al. (1996)
Aumento do número de espécies de insetos após a passagem do fogo	Diniz (1997)
Populações indígenas manipulam o fogo no Cerrado para plantio	Leonel (2000)
Abertura de frutos após a passagem do fogo	Stokes et al. (2004)
Sem o manejo do fogo, a vegetação se adensa, as copas das árvores sombreiam o solo e as espécies vegetais rasteiras desaparecem	Durigan et al. (2016)
Estudo de queima em frutíferas na comunidade indígena Xerente. Período de queima: Abril/Maio. Espécies: pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>), mangaba (<i>Hancornia speciosa</i>), buriti (<i>Mauritia Flexuosa</i>), araticum (<i>Annona crassiflora</i>), oiti (<i>Licania tomentosa</i>) e puçá (<i>Mouriri pusa Gardner</i>)	Falleiro et al. (2016)

Dessa forma, o Cerrado não é resultado da degradação de ecossistemas florestais, e sim um ecossistema complexo, com dinâmica sucessional própria, e que abriga uma riqueza inestimável em seus recursos genéticos. Por um lado, a completa supressão dos incêndios implicaria em consequências negativas para o Cerrado, por outro, a realidade de aumento na frequência do fogo coloca em xeque a diversidade biológica nestes sistemas, bem como os serviços ambientais que dependem da estrutura e dinâmica da cobertura vegetal nativa (Durigan, 2020).

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE PLANTAS NATIVAS DO CERRADO SOB EFEITO DO FOGO

O fogo pode ser um condicionante para o estabelecimento das espécies nativas do Bioma Cerrado, mais precisamente em formações savânicas e campestres, estas apresentam não só certo grau de tolerância como são beneficiadas por este fator. A germinação das sementes pode ser facilitada pelo fogo, pois com o aumento da temperatura, fissuras na casca de sementes podem ser formadas, promovendo assim a germinação; além disso, o fogo acelera a ciclagem de nutrientes sem causar a destruição dos tecidos vivos (Santana et al., 2019).

Apesar de pouco estudado em comparação aos demais fatores ambientais, o efeito de altas temperaturas na germinação de sementes apresenta comportamentos contrastantes, dependendo da espécie avaliada e da dinâmica de exposição. Por exemplo, em plantas do tipo C4 com rápidas exposições em temperaturas elevadas até 110 °C, o processo de germinação não é afetado em *Andropogon lateralis* e *Sbizzachyrium microstachium*, por outro lado, temperaturas a partir de 70 °C foram suficientes para afetar a germinação de *Elionurus muticus* e *Leptochorybium lanatum* (Overbeck et al., 2006; Scott et al., 2010). Neste sentido, vale destacar que as gramíneas, em termos quantitativos, constituem o maior componente do banco de sementes dos solos do Cerrado (Fontenele et al., 2020). Resultados similares foram observados em espécies do estrato herbáceo-arbóreo (Schmidt et al., 2005; Fichino et al., 2012); no entanto, em ambos os casos o tempo e intensidade de exposição são fatores determinantes para o estabelecimento das plântulas. No estrato arbóreo, algumas características concernentes às espécies tendem a ter um papel crucial na tolerância das sementes ao fogo. Dentre as quais, podem ser destacadas o tamanho, a forma e outras características dimensionais das sementes, caracteres estruturais ou funcionais como presença ou ausência de dormência tegumentar e/ou fisiológica, de natureza química como o tipo, quantidade/disponibilidade de reservas e teor de umidade, de natureza genotípica como a variabilidade genética das espécies, além de outros aspectos como o local de armazenamento das sementes que podem permanecer na planta matriz ainda presente nos frutos, ou serem dispersas e dispostas nos bancos de sementes (Cirne; Miranda, 2008; Andrade; Miranda, 2014; Bouchardet et al., 2015; Sato et al., 2018). Cirne e Miranda (2008) destacam que o fogo não afeta a germinação de sementes de *Kilmeyera coriacea*, além de favorecer a abertura dos frutos (Figura 2).

De acordo com Gashaw e Michelsen (2002), em sementes o fogo pode atuar por duas vias distintas: *i*) facilitar a quebra do tegumento, consequentemente induzindo a embebição e posterior germinação das sementes, ou *ii*) induzir a morte do embrião em sementes menos tolerantes ou em áreas com maior frequência de queimadas. O fogo é considerado o maior fator nos processos de sucessão do Cerrado, determinante para a dinâmica e composição florística do Bioma. O impacto do fogo em

ambiente de Cerrado, também foi observado na fenologia reprodutiva em plantas de *Anacardium humile* (Souza; Cunha, 2018), sugerindo alterações metabólicas nos teores de substâncias catalíticas de natureza hormonal, tais como os fitohormônios auxinas, giberelinas e citocininas. Vale ressaltar que, a fumaça proveniente das queimadas pode liberar etileno e amônia que aumentam a permeabilidade do tegumento, podendo facilitar o processo germinativo (Steuter; McPherson, 1995).

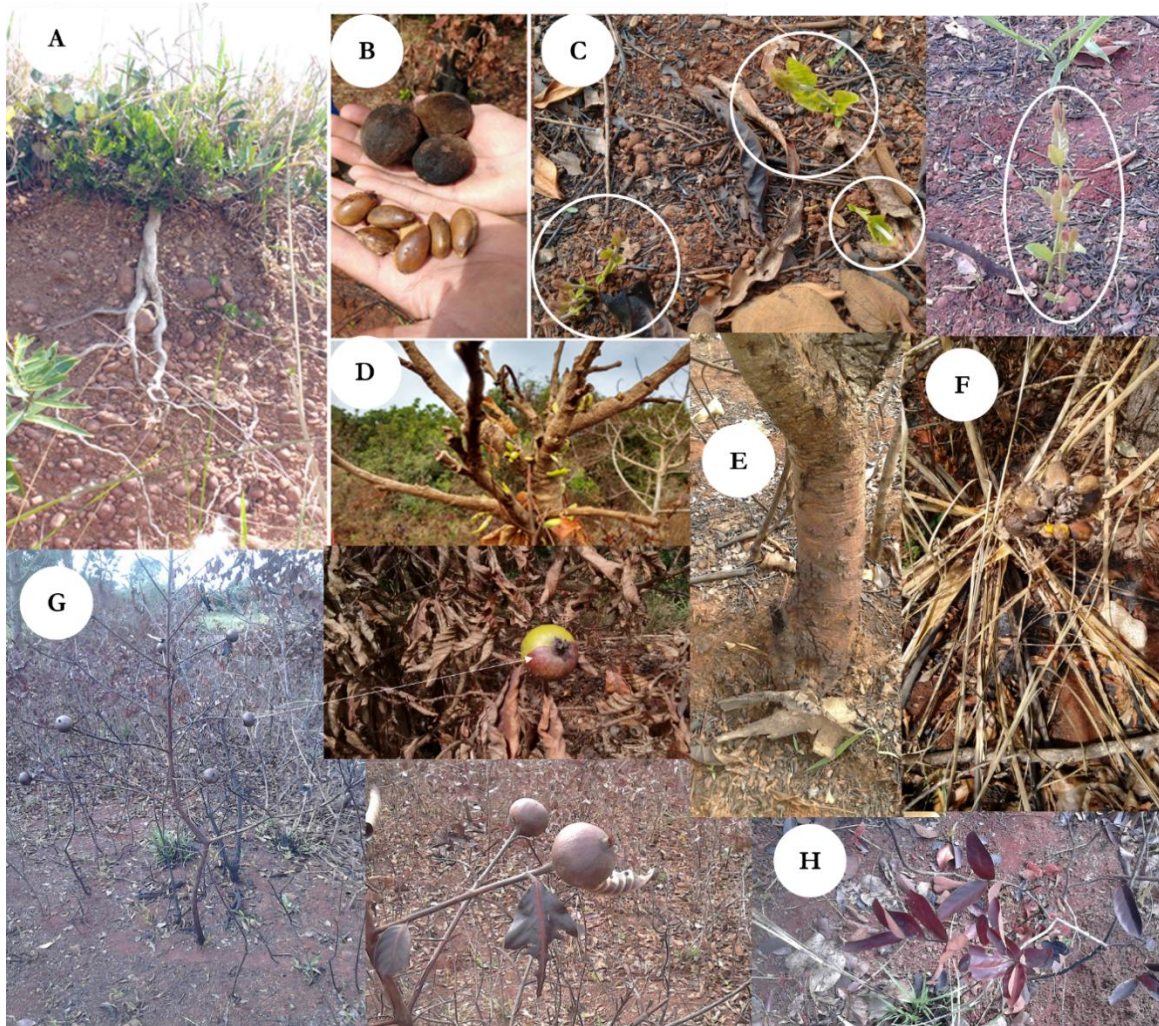


Figura 2. Características da vegetação do Cerrado após rápida passagem do fogo num trecho cerrado sensu stricto no município de Dourados/MS em 2017: sistema radicular profundo em herbácea lenhosa (A); frutos e sementes de abiu do cerrado [*Pouteria torta* (Mart.) Radlk] (B); rebrota de lianas Malpighiaceae sp.(C); rebrota de meristemas em araticum (*Annona coriacea* Mart.) (D); caule de barbatimão(*Stryphnodendron* sp.) (E); caraguatá (*Bromelia balansae* Mez) (F); plantas e frutos de marmelo (*Alibertia edulis* (Rich.) A.Rich) (G); e guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O.Berg] (H). Fotos: Santiago E.F e Brandani J. Z.

Os brotos apicais adormecidos de algumas árvores escapam à ação destrutiva do fogo por meio do efeito protetor de catafilos densos e peludos, como verificado em *Aspidosperma tomentosum*. No entanto, existem muitas espécies nas quais os botões apicais dormentes são muito expostos e frequentemente morrem devido às altas temperaturas das chamas de fogo. Neste caso, brotos

adventícios podem rebrotar posteriormente, resultando em crescimento simpático das hastes conferindo a arquitetura típica do cerrado *sr.*, isto é, a tortuosidade dos troncos e galhos de árvores e arvoretas (Coutinho, 1990).

Em plantas já estabelecidas, um fator fisiológico atuante e importante na tolerância aos estressores regulares do ambiente e durante a ocorrência de queimadas, é a capacidade de absorção e redistribuição de água pelos tecidos vegetais. A transpiração foliar por meio dos estômatos, é o principal processo responsável pela manutenção do gradiente hídrico ao longo de todo o sistema solo-planta-atmosfera (Knapp, 1985; Heringer; Jacques, 2001). O dinâmica de abertura e fechamento estomático é fortemente influenciada pela elevação da temperatura (Heldt; Heldt, 2005). A restrição da abertura estomática é comum em períodos de seca, podendo ocorrer durante os períodos de queimadas, atuando como uma resposta plástica ao ambiente, que aliada à um conjunto de caracteres foliares que conferem impermeabilidade às folhas, auxiliam na manutenção da água nos órgãos aéreos das plantas (Figura 2).

As raízes distribuídas em grandes profundidades, características de diversas espécies de Cerrado, também contribuem significativamente para a manutenção do balanço hídrico vegetal nos períodos pós-fogo. Nos estratos arbóreos, a capacidade de manutenção do tecido cambial do caule e da raiz, são traços encontrados em espécies que apresentam resistência aos períodos de queimadas (Heringer; Jacques, 2001), caules densos e retorcidos são características comum em diversas espécies do cerrado (Figura 2). Dependendo da espécie, respostas fisiológicas contrastantes também podem ser observadas. As altas taxas de CO₂, produzidos pelas queimadas, podem levar à uma re-fixação de CO₂ por plantas tolerantes, expressando-se em uma maior acumulação de biomassa (Cernusak et al., 2006). Em um estudo recente, com plantas de *Hymenaea stigonocarpa* submetidas à elevação atmosférica de CO₂, Maia et al. (2019) observaram a otimização da taxa de transporte fotossintético de elétrons em plantas jovens expostas ao CO₂. No entanto, elevadas temperaturas durante as queimadas podem induzir danos permanentes no aparato fotossintético, sobretudo no complexo de evolução de oxigênio (CEO) responsável pela fotólise da água, e pela doação de elétrons para a cadeia de transporte de elétrons da fotossíntese (Strasser, 1997).

O desempenho observado em diversas espécies de Cerrado frente ao fogo, está diretamente relacionado a sua plasticidade fisiológica, envolvendo todo o conjunto de adaptações morfofisiológicas do organismo vegetal, permitindo sua tolerância e sobrevivência (Steuter e McPherson, 1995). De um modo geral, são descritas otimizações nos processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicos (Figura 3), tais como; uma maior eficiência fotossintética, boa manutenção hídrica via trocas gasosas, alta atividade enzimática, e alterações no potencial osmótico visando balancear a eficiência no uso da água, associados é claro, aos traços morfológicos e estruturais das espécies (Knapp, 1985; Heringer; Jacques, 2001).

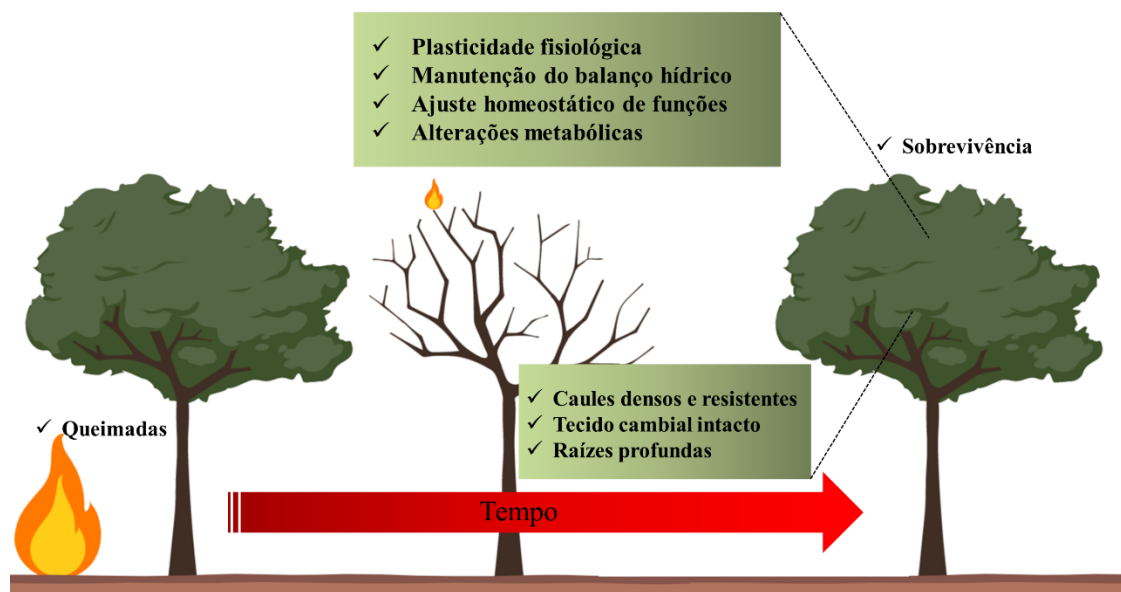


Figura 3. Principais características e alterações morfofisiológicas observadas em espécies arbóreas de Cerrado tolerantes ao fogo. Fonte: Elaborada pelos autores.

REGENERAÇÃO NATURAL NO CERRADO PÓS-FOGO: MAPEAMENTO NDVI

O fogo tem sido considerado o fator mais importante na manutenção do equilíbrio biológico da vegetação do Cerrado, apesar da variação dos fatores ambientais, como a disponibilidade de nutrientes do solo e água influenciarem a estrutura da vegetação deste Bioma (Coutinho, 1990; Durigan; Ratter, 2016). Alterações no regime do fogo podem ter influência no Cerrado, uma vez que podem homogeneizar o mosaico vegetacional e intensificar a criação de paisagens dominadas por gramíneas (Setterfield et al., 2010). Por outro lado, a supressão do fogo resulta em mudanças no Bioma e modificações na biodiversidade, com vegetação característica sendo substituída por espécies de sistemas vizinhos, aumentando o número de espécies sensíveis ao fogo (Coutinho, 1990; Scott et al., 2012; Durigan; Ratter, 2016).

Embora existam divergências entre autores quanto aos efeitos do fogo na vegetação (Conceição; Orr, 2012; Ribeiro et al., 2012; Santana et al., 2013). Estudos têm reportado que muitas espécies vegetais do Cerrado são adaptadas ao fogo e à dinâmica deste ecossistema, possuindo alta resistência e resiliência após a passagem de fogo (Simon et al., 2009; Alves; Silva, 2011; Gorgone-Barbosa et al., 2016; Kolb et al., 2016).

Em geral, o que tem sido observado nas mais diversas comunidades vegetais é que a floração se distribui ao longo do ano, entretanto quando se trata de espécies de Cerrado, a maioria das plantas floresce na estação seca ou no início da estação chuvosa (Antunes; Ribeiro, 1999; Mendes et al., 2011), quando os eventos de fogo acontecem com maior frequência (Miranda; Sato, 2005). O fogo é responsável por remover a biomassa seca dessas áreas e estimular uma rápida recuperação das espécies

vegetais após as primeiras chuvas (Camargos et al., 2010), porém estes efeitos da queima na reprodução podem ser divergentes e complexos.

Um estudo realizado em área de Cerrado no Nordeste do Brasil mostrou que uma das espécies estudadas (*Byrsonima rotunda* Griseb.) apresentou floração logo após a ocorrência de fogo, quando há pouca ou nenhuma outra planta florida, sendo presumido pelos autores que esta espécie apresenta floração estimulada pela ocorrência de fogo (Mendes et al., 2011). Por outro lado, Neves e Damasceno-Junior (2011) estudando a fenologia em vegetação de campo sujo pós-fogo em Mato Grosso do Sul, verificaram que o fogo pode ter interferido negativamente na fenologia de espécies vegetais da área, pois espécies zoocóricas não apresentaram frutificação nos meses seguintes ao evento e as gramíneas não apresentaram floração e frutificação durante todo o período de estudo (um ano). Os autores salientam que os padrões fenológicos em comunidades de plantas trazem contribuições importantes para o entendimento de períodos de floração e frutificação.

Além de parâmetros fenológicos, o que se verifica em fitofisionomias não adaptadas ao fogo, após a ocorrência deste evento, é um restabelecimento lento da vegetação, por outro lado as formações encontradas no Cerrado são altamente resilientes ao fogo (Camargos et al., 2010). Por isso, se espera que o restabelecimento no Cerrado aconteça de maneira rápida devido, principalmente, à rebrota de indivíduos vegetais, sendo considerado mecanismo de regeneração verificado em espécies arbustivo-arbóreas, após o fogo. Em sistemas adaptados ao fogo, ainda que o banco de sementes possa ser reduzido pelas altas temperaturas na superfície do solo, a rebrota pode passar a ser a principal forma de restauração da vegetação (Camargos et al., 2010).

Num cenário pós-fogo, a combustão da biomassa vegetal gera uma camada carbonizada sobre a superfície do solo com material mineralizado, neste cenário a rápida rebrota implica em vantagem adaptativa na absorção de nutrientes, também não se pode descartar que a rápida floração implica em vantagem competitiva pelos polinizadores/dispersores. Nos pós-fogo do Cerrado, chama a atenção o contraste criado entre o verde da rebrota, o colorido das flores e o fundo escuro dos solos (Figura 2).

O registro ou monitoramento da dinâmica da cobertura dos solos no pós-fogo pode ser efetuado por meio de sensores remotos. Estudos utilizando imagens de satélite ou obtidas por meio de sensores RGB ou multiespectrais embarcados em Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) permitem verificar o processo de regeneração natural a partir da passagem do fogo, além de proporcionar maior entendimento da dinâmica destes sistemas (Kolb et al., 2016). A partir do uso dessas imagens ou os produtos de seu processamento, é possível analisar e monitorar o comportamento vegetativo por meio de índices de vegetação, os quais permitem diferenciar o adensamento vegetal dos demais elementos da superfície terrestre (Távora et al., 2011), bem como a avaliação do vigor da vegetação.

O índice mais empregado nos estudos de avaliação do vigor na vegetação é o NDVI, que, ao realçar o contraste da radiação refletida nos intervalos espectrais do vermelho e infravermelho, os quais correspondem proporcionalmente à atividade fotossintética, permitindo inferências sobre a saúde vegetal, além de favorecer a identificação das distintas fitofisionomias, ainda, auxilia no monitoramento da regeneração natural, nas mudanças sazonais e interanuais bem como os impactos relacionados à atividade antrópica e à eventos naturais (Mascarenhas et al., 2009).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada foi proposto por Rouse et al. (1974). Implica na relação entre medidas espectrais (refletância - ρ) de duas bandas, a do infravermelho próximo-IV (700-1300 nm) e a do vermelho-V (600-700 nm). Os valores do índice variam de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação e o valor zero se refere aos pixels não vegetados (Abdalla et al., 2015). Os valores de NDVI podem ser obtidos a partir da equação (1) (Rouse et al., 1974):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho \text{ NIR} - \rho \text{ red}}{\rho \text{ NIR} + \rho \text{ red}} \quad (1)$$

Onde:

ρ NIR: banda do infravermelho próximo

ρ red: banda do vermelho

Para exemplificar como este índice pode ser eficiente para análises de regeneração natural da vegetação pós-fogo, a Figura 4 mostra o NDVI de uma área de cerrado *stricto sensu* que foi atingida pelo fogo no ano de 2017. Entretanto, para observar a evolução da área, as análises foram feitas desde o ano de 2016 até o ano de 2020. Fica evidente que o índice de vegetação anterior ao incêndio é superior ao NDVI dos anos seguintes, mostrando que a regeneração de uma área de cerrado ocorre de forma lenta e gradual.

O padrão comum esperado às fitofisionomias de floresta tropical, que apresentam flutuação de cobertura de solo, não foi verificado para este fragmento, mostrando que não ocorreu aumento ou/e regressão da vegetação durante o período de estudo. O Cerrado s.s. estudado se mostrou estável quanto às variações na dinâmica de cobertura.

Almeida et al. (2014) estudando a mudança florística de uma área de cerrado ao longo de 27 anos, verificaram que apesar de ocorrer alteração na composição com o tempo, poucas mudanças ocorrem no intervalo de três anos, o que também pode ser extrapolado para este fragmento.

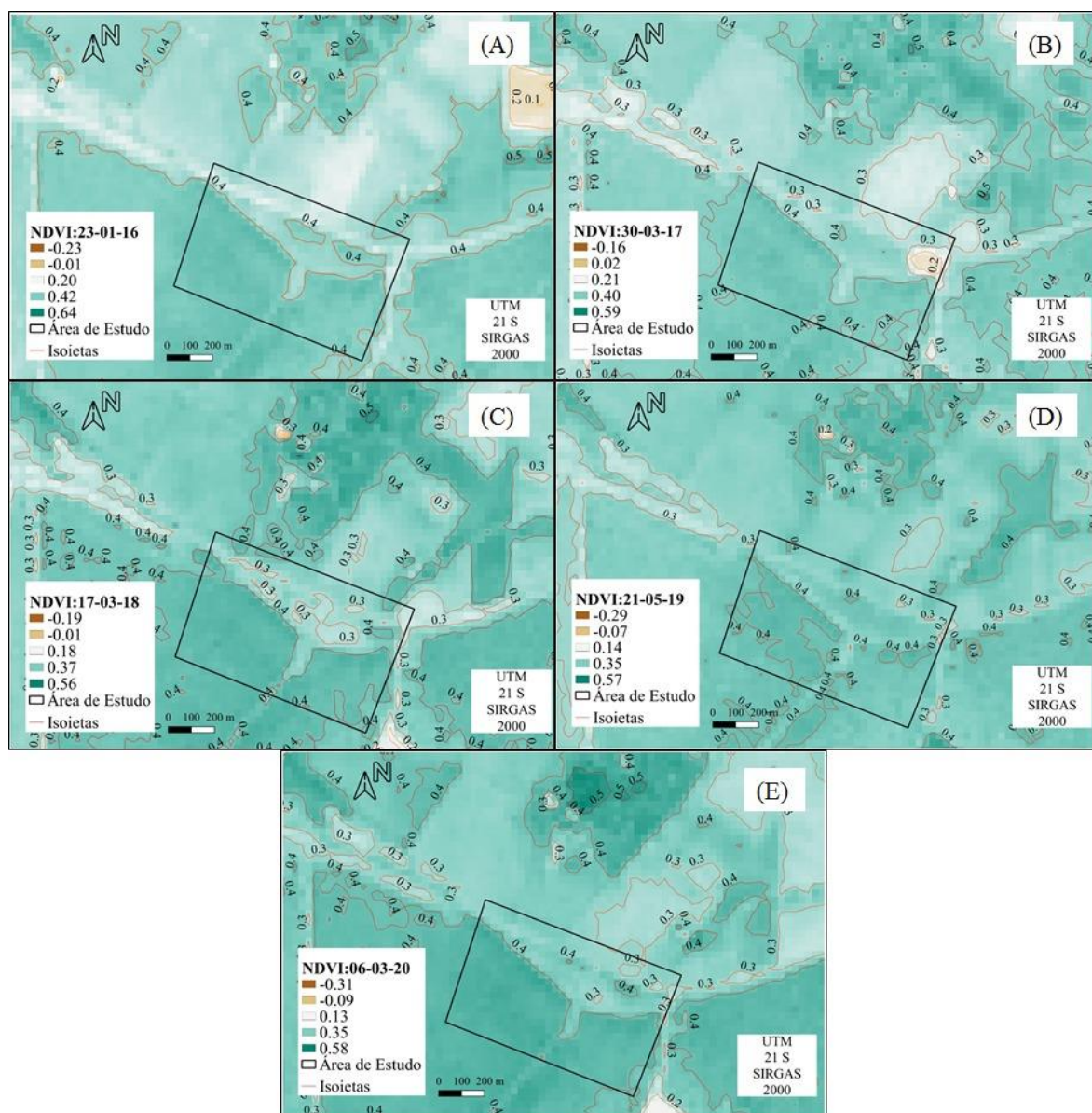


Figura 4. NDVI para uma área de cerrado *stricto sensu* acometida pelo fogo no ano de 2017. As figuras mostram a evolução da regeneração natural da mesma no decorrer dos anos: A-2016, B-2017; C- 2018, D-2019, E-2020. Fonte: Elaborada pelos autores.

Segundo Brito et al. (2018), a pressão sobre a região do Cerrado, em termos de queimadas e incêndios florestais, vem crescendo ao longo dos últimos anos. Como ações norteadoras de políticas públicas neste tema, foram criados o Plano Nacional de Mudanças Climáticas e o Plano de Ação para Prevenção e Controle de Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado), que preveem a redução de 40% do desmatamento do Bioma Cerrado em relação à média entre os anos de 1999 a 2008 até 2020. Esse projeto, publicado no site do Ministério do Meio Ambiente, propõe o desenvolvimento de metodologias de detecção e de quantificação das áreas queimadas no Bioma Cerrado e o estabelecimento do nível de referência de emissões de gases de efeito estufa por desflorestamento e

degradação. As metodologias baseiam-se na obtenção de imagens de satélites interpretadas e inseridas em um Banco de Dados, para auxiliar ações de planejamento e estratégias de conservação do Bioma.

Numa escala que permite a identificação pontual com alto grau de nitidez e resolução espacial as imagens obtidas por meio de ARPs propiciam a realização de levantamentos fotogramétricos com detalhes geoespaciais não alcançados pelos satélites, constituindo, portanto, uma importante ferramenta complementar nos estudos de uso e ocupação dos solos.

A partir de imagens obtidas a 50-100 metros de altitude é possível acompanhar a evolução da dinâmica de cobertura com grandes detalhes nas unidades amostrais (parcelas), sendo possível, estimar variáveis como: quantidade de material combustível, evolução na cobertura do solo, variações espectrais e de cobertura da copa, NDVI, entre outros, utilizando processamento das imagens a partir de softwares específicos (Figura 5).



Figura 5. Imagens remotas capturadas por ARP (aeronave remotamente pilotada), em trechos cerrado *sensu stricto* no município de Dourados/MS em 2016. (A) imagem obtida no período da seca em agosto de 2017, notar a cobertura seca de gramíneas; (B) trecho em restauração com espécies nativas do cerrado, pós-queimada, imagem obtida em março de 2017. Foto: Santiago E.F.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estreita relação entre o fogo como fator determinante na dinâmica estrutural e funcional do Cerrado, os impactos ambientais advindos de sua utilização excessiva como forma de manejo, bem como atitudes negligentes de governos e tomadores de decisão quanto ao cumprimento das legislações vigentes, tornam este tema atualíssimo, justificando os estudos geradores de dados e maior senso crítico no âmbito das políticas públicas.

O Cerrado apresenta diferentes fisionomias e relações ecológicas complexas. As formações florestais, savânicas e campestres, além dos subtipos que estão presentes também no Cerrado dependem do fogo, como elemento regulador de sua dinâmica. A ausência do fogo neste sistema proporciona o desenvolvimento da vegetação dos estratos superiores, como as arbóreas, o que implica em efeitos sobre

a densidade e cobertura da copa da vegetação, ao passo que a maior frequência do fogo favorece a evolução do estrato herbáceo, como as espécies de gramíneas e arbustos. Assim, a menor ou maior frequência do fogo interfere na dinâmica sucessional no sentido da progressão para o domínio florestal ou para o domínio campestre.

Ainda que seja um elemento imprescindível ao sistema, a frequência de ocorrência natural do fogo no Cerrado obedece a ciclos distribuídos em intervalo de tempo superior a cinco anos, desta forma, o fogo de natureza antrópica, associados a outros fatores de estresse como a fragmentação florestal, mal uso do solo nas áreas agricultáveis ou de pastagem que constituem a matriz nas quais os fragmentos de vegetação nativa estão imersos, a compactação do solo pelo pisoteio do gado, as atividades extrativistas, entre outros fatores, constituem em elementos cujo sinergismo pode suplantar a capacidade de tolerância das espécies nativas, com resultados significativos sobre a diversidade em seus diferentes níveis.

O bioma Cerrado abrange uma extensa área territorial nacional, com grande potencial ambiental, social e econômico, cuja diversidade representada por seu patrimônio genético consiste em importante fonte de recursos a serem explorados com vistas ao bem comum. A razoabilidade no uso dos recursos genéticos do Cerrado decorre da observância aos princípios da sustentabilidade. Desta forma, são imprescindíveis a participação dos diferentes atores sociais envolvidos: produtores rurais, poder público constituído, universidades e instituições de pesquisa, bem como a sociedade de modo geral, no sentido de identificar as potencialidades, mas também as fragilidades deste sistema.

Ressalta-se, por fim, a importância da pesquisa como elemento ampliador de conhecimento no bioma, em especial quanto aos processos dinâmicos do Cerrado e das interações entre as espécies e os fatores geradores de estresse, elemento fundamental tanto ao uso sustentável de seus recursos quanto para a adoção de práticas conservacionistas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla NI, Gaiballa AK, Kättsch C, Sulieman M, Mariod A (2015). Using MODIS- Derived NDVI and SAVI to distinguish between different rangeland sites according to soil types in semi-arid areas of Sudan (North Kordofan State). *International Journal of Life Science and Engineering*, 1(4): 150-164.
- Almeida RF, Fagg CW, Oliveira MC, Munhoz CBR, Lima AS, Oliveira LSB (2014). Mudanças florísticas e estruturais no cerrado sensu stricto ao longo de 27 anos (1985-2012) na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. *Rodriguésia*, 65(1): 1-19.
- Almeida SP, Silva JA, Ribeiro JF (1987). Aproveitamento alimentar de espécies nativas dos Cerrados: araticum, baru, cagaita e jatobá. Planaltina. EMBRAPA-CPAC. 83p.

- Alves RJV, Silva NG (2011). O Fogo é sempre um vilão nos Campos Rupestres? *Biodiversidade Brasileira*, 2: 120-127.
- Andrade LAZ, Miranda HS (2014). The dynamics of the soil seed bank after a fire event in a woody savanna in central Brazil. *Plant Ecology*, 215: 1199-1209.
- Antunes NB, Ribeiro JF (1999). Aspectos fenológicos de seis espécies vegetais em matas de galeria do Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 34 (9): 1517-1527.
- Baiardi A (2017). A pseudociência e o neo-obscurantismo contemporâneo. *Jornal da Ciência. SBPC*. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1083058/1/PEDROSOJornaldaCiencia2017.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- Bolfe EL, Sano EE, Campos SK (2020). Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções. Brasília, DF: Embrapa. 312p.
- Bouchardet DA, Ribeiro IM, Sousa NA, Aires SS, Miranda HS (2015). Efeitos de altas temperaturas na germinação de sementes de *Plathymenia reticulata* Benth. e *Dalbergia miscolobium* Benth. *Revista Árvore*. 39(4): 697-705.
- Brasil. Decreto nº 9.997, de 30 de agosto de 2019. Altera o Decreto nº 9.992, de 28 de agosto de 2019, que determina a suspensão da permissão do emprego do fogo de que trata o Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998, no território nacional pelo prazo de sessenta dias. *Diário Oficial da União*, edição extra, 30 de agosto de 2019.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente – MMA (2009). *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado-PP Cerrado*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- Brito A, Valeriano DM, Ferri C, Scolastici A, Sestini M. Metodologia da detecção do desmatamento no Bioma cerrado: Mapeamento de Áreas Antropizadas com Imagens de Média Resolução Espacial, Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais, FUNCATE, São José dos Campos, 2018. Disponível em: http://cerrado.obt.inpe.br/wp-content/uploads/2019/08/report_funcate_metodologia_mapeamento_Bioma_cerrado.pdf. Acesso em: 16 jul. 2020.
- Camargos VL, Martins SV, Ribeiro GA, Carmo FMS, Silva AF (2010). Avaliação do impacto do fogo no estrato de regeneração em um trecho de floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG. *Revista Árvore*, 34(6): 1055 -1063.
- Cernusak LA, Hutley LB, Beringer J, Tapper NJ (2006). Stem and leaf gas exchange and their responses to fire in a north Australian tropical savanna. *Plant, Cell and Environment*, 29(4): 632-646.
- Chaves JBP (2001). Métodos de diferença em avaliação sensorial de alimentos e bebidas. Viçosa: Editora UFV. 91p.

- Cirne P, Miranda HS (2008). Effects of prescribed fires on the survival and release of seeds of *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. (Clusiaceae) in savannas of Central Brazil. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(3): 197-204.
- Conceição AA, Orr BJ (2012). Post-fire flowering and fruiting in *Vellozia sincorana*, a caulescent rosette plant endemic to Northeast Brazil. *Acta Botanica Brasílica*, 26: 94-100.
- Costa, R., Scariot, A. (2003). A fragmentação Florestal e os Recursos Genéticos. In: Fragmentação Florestal e Alternativas de Desenvolvimento Rural na Região Centro-Oeste. Reginaldo Brito da Costa (Org). Campo Grande: UCBD, 2003.
- Coutinho LM (1990). Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: *Fire in the tropical biota*. Springer, Berlin, Heidelberg, 82-105p.
- Dias BF (org.) (1992). Alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Ed. FUNATURA, Brasília, DF, 34-38p.
- Diniz IR (1997). Variação na abundância de insetos no Cerrado: efeito das mudanças climáticas e do fogo. Dissertação de Mestrado- Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília- UnB, Brasília- DF. 274p.
- Durigan G (2020). Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. *Flora*, 151612
- Durigan G, Ratter JA (2016) The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, 53: 11-15.
- Eiten G (1977). Delimitação do conceito de Cerrado. *Arquivos do Jardim Botânico, Rio de Janeiro*, 21: 125-134.
- Falleiro RM, Santana MT, Berni CR (2016). *As Contribuições do Manejo Integrado do Fogo para o Controle dos Incêndios Florestais nas Terras Indígenas do Brasil*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2: 94-96p.
- Felfili JM, Sousa-Silva JC, Scariot A (2005). Biodiversidade, ecologia e conservação do Cerrado: avanços no conhecimento. In: Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (Org.). *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 439p.
- Fichino B, Fidelis A, Schmidt I, Pivello V (2012). Efeitos de altas temperaturas na germinação de sementes de capim-dourado (*Syngonanthus nitens*) (Bong.) Ruhland (Eriocaulaceae): implicações para o manejo. *Acta Botanica Brasílica*, 26(2): 512-515.
- Fontenele HGV, Figueiroa RNA, Pereira CM, Nascimento VT, Musso C, Miranda HS (2020). Protected from fire, but not from harm: seedling emergence of savanna grasses is constrained by burial depth. *Plant Ecology and Diversity*, 13(2): 189-198.

- Gashaw M, Michelsen A (2002). Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna and grassland in Ethiopia. *Plant Ecology*, 159: 83-93.
- Gomes L, Miranda HS, Cunha Bustamante MM (2018). How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? *Forest Ecology and Management*. 417: 281-290.
- González, A.V, Gómez-Silva, V., Ramírez, M.J., Fontúrbel, F.E. (2019) Meta-analysis of the differential effects of habitat fragmentation and degradation on plant genetic diversity. *Conservation Biology*, 34 (3): 711–720.
- Gorgone-Barbosa E, Pivello VR, Baeza MJ, Fidelis A (2016). Disturbance as a factor in breaking dormancy and enhancing invasiveness of African grasses in a Neotropical Savanna. *Acta Botanica Brasílica*, 30: 131-137.
- Hanlon J (1969). An ecologic view of public health. *American Journal of Public Health* 59: 4-11.
- Hardesty J, Myers R, Fulks W (2005). Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *The George Wright Forum*. 22: 78-87.
- Heldt H-W, Heldt F (2005). *Plant Biochemistry*. 3 ed. Editora Elsevier, Amsterdam. 656p.
- Heringer I, Jacques AVA (2001). Adaptações de plantas ao fogo: enfoque na transição floresta-campo. *Ciência Rural*. 31(6): 1085-1090.
- Klink CA, Machado RB (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, 1(1): 147-155.
- Knapp AK (1985). Effects of fire and drought on the ecophysiology of *Andropogon gerardii* and *Panicum virgatum* in a tallgrass prairie. *Ecology*. 66(4): 1309-1320.
- Kolb RM, Pilon NAL, Durigan G (2016). Factors influencing seed germination in Cerrado grasses. *Acta Botanica Brasílica*, 30: 87-92.
- Leonel M (2000). O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estudos Avançados*, 14(40): 231-250.
- Maia RA, Fernandes GW, Silva AIS, Souza JP (2019). Improvement in light utilization and shoot growth in *Hymenaea stigonocarpa* under high CO₂ concentration attenuates simulated leaf herbivory effects. *Acta Botanica Brasílica*. 33(3): 558-571.
- Mascarenhas LMA, Ferreira ME, Ferreira LG (2009) Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, 21(1): 5-18.
- Mendes FN, Rêgo MMC, Albuquerque PMC (2011) Fenologia e biologia reprodutiva de duas espécies de *Byrsonima* Rich. (Malpighiaceae) em área de Cerrado no Nordeste do Brasil. *Biota Neotropica*, 11(4): 103-115.

- Miranda HS, Sato MN (2005). Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM. (Orgs.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- Neves DRM, Damasceno-Junior GA (2011). Post-fire phenology in a campo sujo vegetation in the Urucum plateau, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Brazilian Journal Biology*, 71(4): 881-888.
- Oliveira RS, Batista JAN, Proença CEB, Bianchetti L (1996). Influência do fogo na floração de espécies de orchidaceae em cerrado. In: Miranda HS, Saito CH, Dias BF (orgs.). *Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga*. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 61-67p.
- Overbeck GE, Muller SC, Pillar VD, Pfadenhauer J (2006). No heat-stimulated germination found in herbaceous species from burned subtropical grassland. *Plant Ecology*. 184: 237-243.
- Pivello VR (2011). The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire ecology*, 7(1): 24-39.
- Ribeiro JF, Sano SM, Silva JA (1981). Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. p.124-133 In: Anais do XXXII Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil, Teresina, Brasil.
- Ribeiro MN, Sanchez M, Pedroni F, Peixoto KS (2012) Fogo e dinâmica da comunidade lenhosa em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT. *Acta Botanica Brasilica*, 26: 203-217.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1974) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite. In: 1 Symposium, Greenbelt: NASA.
- Sano SM, Almeida SP (1998) *Cerrado: ambiente e flora*. 1.ed. Ed. Embrapa, Planaltina. 212- 213p.
- Santana TF, Fernandes HE, Giongo M, Moura WS, Cabral KP, Souza PB (2019). Influência do fogo na germinação de três espécies do bioma cerrado. *Biodiversidade*, 18(1): 18-27.
- Santana VM, Baeza MJ, Blanes MC (2013) Clarifying the role of fire heat and daily temperature fluctuations as germination cues for Mediterranean Basin obligate seeders. *Annals of Botany*, 111: 127-134.
- Santiago EF, Paoli AAS (2003) O aumento em superfície em *Adelia membranifolia* (Müll. Arg.) Pax & K. Hoffm. e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., em resposta ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. *Revista Brasileira de Botânica*, 26(4): 503-513.
- Sarmiento, G, Cabido, M. 1996. Biodiversidad y Funcionamiento de Pastizales y Sabanas en América Latina. Ediciones Cytel y Cielat. 231-243p.
- Sato M, Musso C, Miranda HS (2018). Fire-induced damage to *Qualea multiflora* Mart. seeds depends on fruit protection and the position in tree crown. *Plant Biology*. 20(6): 1036-1041.

- Schmidt IB, Sampaio AB, Borghetti F (2005). Efeitos de época de queima sobre a reprodução sexuada e estrutura populacional de *Heteropterys pteropetada* (Adr. Juss.), Malpighiaceae, em áreas de cerrado *sensu strictu* submetidas a queimas bienais. *Acta Botanica Brasílica*. 19: 929-936.
- Scott K, Setterfield S, Douglas M, Andersen A (2010). Soil seedbanks confer resilience to savanna grass-layer plants during seasonal disturbance. *Acta Oecologica*. 36: 202-210.
- Scott K, Setterfield SA, Douglas MM, Parr CL, Schatz J, Andersen AN (2012) Does long-term fire exclusion in an Australian tropical savanna result in a biome shift? A test using the reintroduction of fire. *Austral Ecology*, 37: 693–711.
- Setterfield SA, Rossiter-Rachor NA, Hutley LB, Douglas MM, Williams RJ (2010). Turning up the heat: the impacts of *Andropogon gayanus* (gamba grass) invasion on fire behaviour in northern Australian savannas. *Diversity and Distributions*, 16: 854-861.
- Simon MF, Grether R, Queiroz LP, Skema C, Pennington RT, Hughes CE (2009) Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Science*, 108: 20359-20364.
- Sousa DG, Cunha HF (2018). Effect of fire on flowering and fruiting of *Anacardium humile* (Anacardiaceae) in Cerrado *stricto sensu*. *Revista Árvore*. 42(6): e420605.
- Souza MA, Vale AT (2019). Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de Cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas. *Ciência Florestal*, 29(1): 181-192.
- Steuter AA, McPherson GR (1995). Fire as a physical stress. In: Bedunah DJ, Sosebee RE (Eds.) *Wildland plant as physiological ecology and developmental morphology*. Denver: Society for Range Management, 550-579p.
- Stokes KE, Allchin AE, Bullock JM, Watkinson AR (2004). Population responses of *Ulex shrubs* to fire in a lowland heath community. *Journal of Vegetation Science*, 15: 505-514.
- Strassburg BB, Brooks T, Feltran-Barbieri R, Iribarrem A, Crouzeilles R, Loyola R, Soares-Filho B (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, 1(4): 1-3.
- Strasser BJ (1997). Donor side capacity of Photosystem II probed by chlorophyll *a* fluorescence transients. *Photosynthesis Research*, 52: 147-155.
- Távora BE, Egert R, Beltrão L (2011). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas na avaliação da recuperação de danos em áreas degradadas. *Boletim Científico ESMPU*, 10(35): 85-95.
- Tung ESC, Freitas MLM, Florsheim SMB, Lima IL, Longui EL, Wergles Santos FW, Moraes MLT, Sebbenn AM (2010). Variação genética para caracteres silviculturais em três espécies arbóreas da região do bolsão Sul-Mato-Grossense. *Scientia Forestalis*, 38(87): 499-508.

ÍNDICE REMISSIVO

- A**
- adaptação, 122, 124
ajuste, 99, 100, 144
aluminum tolerance, 77
análise multivariada, 35, 38
- B**
- biossólido, 95, 101, 102, 109, 110, 111
- C**
- Cucumis sativus* L., 80, 81, 85, 88, 90, 91
- E**
- estresse salino, 5, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38
estresse vegetal, 100
- G**
- Glycine max*, 7, 11, 24, 25, 26, 28, 33, 35, 52
- I**
- índice de tolerância de estresse, 31, 32, 34
- J**
- Jatropha curcas* L., 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78
- O**
- osmotic stress, 86
- R**
- resíduos sólidos, 96, 113
root growth, 40, 41, 45, 68, 69, 72, 74, 76
- S**
- salinity*, 38, 39, 51, 80, 81, 83, 84, 86, 87, 89, 91, 92, 93, 94, 115, 145, 146, 147
seed germination, 39, 41, 52, 81, 83, 84, 86, 87, 92, 113, 136, 145
seed priming, 38, 93
solos salinos, 26, 38
substrato, 66, 97, 101, 103, 105, 109, 110, 111, 116, 117, 137
sucessão, 126
- T**
- tolerância ao fogo, 119
- V**
- vermicompostagem, 102, 109, 113

Fábio Steiner



Doutor em Agronomia - Agricultura (UNESP - Botucatu). Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) e Graduado em Agronomia (UNIOESTE - Marechal Cândido Rondon). Professor, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul em Cassilândia.

Contato: steiner@uems.br

ISBN 978-658831902-4



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br