



Aplicação do protocolo avançado do Programa Monitora no monitoramento de plantas lenhosas em unidades de conservação do Cerrado

Matheus Santos Martins^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0003-1716-4354>

* Contato principal

Washington Luis Oliveira¹

 <https://orcid.org/0000-0002-4834-2910>

Bruno Machado Teles Walter¹

 <https://orcid.org/0000-0002-4196-9315>

Luciano de Bem Bianchetti¹

 <https://orcid.org/0009-0007-8278-5479>

Marcelo Lima Reis²

 <https://orcid.org/0000-0002-8922-8030>

Raffaella Gomes Nunes da Fonseca^{3,4}

 <https://orcid.org/0009-0000-0348-5144>

Marcelo Fragomeni Simon¹

 <https://orcid.org/0000-0002-5732-1716>

¹ Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília/DF, Brasil. <matheus_martins28@hotmail.com, wluisoliveira@gmail.com, bruno.walter@embrapa.br, luciano.bianchetti@embrapa.br, marcelo.simon@embrapa.br>.

² Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Coordenação de Monitoramento da Biodiversidade/COMOB, Brasília/DF, Brasil. <marcelomukira@gmail.com>.

³ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, NGI Brasília - Contagem, Brasília/DF, Brasil. <raffaellagomesn@gmail.com>.

⁴ Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília/DF, Brasil. <raffaellagomesn@gmail.com>.

Recebido em 02/02/2024 – Aceito em 22/04/2025

Como citar:

Martins MS, Oliveira WL, Walter BMT, Bianchetti LB, Reis ML, Fonseca RGN, Simon MF. Aplicação do protocolo avançado do Programa Monitora no monitoramento de plantas lenhosas em unidades de conservação do Cerrado. *Biodivers. Bras.* [Internet]. 2025; 15(2): 114-137. doi: 10.37002/biodiversidadebrasileira.v15i2.2543

Palavras-chave: Dinâmica vegetal; biomassa; diversidade; similaridade.

RESUMO – O bioma Cerrado é composto por um mosaico de vegetações influenciadas por diferentes condições ambientais e históricas. Aqui apresentamos os resultados de até nove anos de monitoramento das plantas lenhosas em cinco unidades de conservação (UCs): Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins/BA-TO, Parque Nacional de Brasília/DF, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO, Parque Nacional da Serra da Bodoquena/MS e Parque Nacional da Serra do Cipó/MG. Seguindo o protocolo do Programa Monitora, inventariamos sete unidades amostrais (quatro savanas e três florestas) em 2014, 2018 e 2023. Analisamos a similaridade florística entre áreas, bem como a dinâmica das vegetações e estimativas de biomassa. Houve baixa similaridade entre unidades amostrais localizadas em diferentes UCs, o que reflete a complexa heterogeneidade fisionômica e biogeográfica do Cerrado. As savanas apresentaram riqueza entre



41 e 59 espécies, diversidade entre 9,5 e 12,9 (alfa-Fisher) e biomassa entre 13,4 e 29,9 Mg/ha. Dentre as florestas, o Parque da Bodoquena (mata seca) apresentou os maiores valores de riqueza (61), diversidade (19,2) e biomassa (145,4), enquanto no Parque da Serra do Cipó (cerradão) a riqueza (27), diversidade (10,5) e biomassa (43,7) foram inferiores. Observou-se equilíbrio entre taxas de mortalidade e recrutamento, ou balanço favorável ao recrutamento, e manutenção ou incremento na biomassa. UCs submetidas a mais eventos de fogo apresentaram menores incrementos em número de indivíduos e biomassa. A continuidade e ampliação desse monitoramento auxiliará no desenvolvimento de estratégias para aprimorar o manejo e a avaliação da efetividade dessas UCs na conservação da diversidade vegetal do Cerrado.

Application of the advanced protocol of the Monitora Program for monitoring woody plants in Cerrado conservation units

Key-words: Vegetation dynamics; biomass; diversity; similarity.

ABSTRACT – The Cerrado biome is composed of a mosaic of vegetation types influenced by different environmental and historical factors. Here we present the results of up to nine years of monitoring woody plants in five Conservation Units (CUs): Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins/BA-TO, National Park of Brasília/DF, National Park of Chapada dos Veadeiros/GO, National Park of Serra da Bodoquena/MS and National Park of Serra do Cipó/MG. Following the Monitora Program protocol, we inventoried seven sampling units (four savannas and three forests) in 2014, 2018 and 2023. We analyzed floristic similarity between areas, as well as vegetation dynamics and biomass estimates. There was low similarity between sampling units located in different CUs, which reflects the complex physiognomic and biogeographic heterogeneity of the Cerrado. Savannas had richness between 41 and 59 species, diversity between 9.5 and 12.9 (alpha-Fisher) and biomass between 13.4 and 29.9 Mg/ha. Among forests, the Park of Bodoquena (dry forest) showed the highest values of richness (61), diversity (19.2) and biomass (145.4), while in the Park of Serra do Cipó (cerradão) richness (27), diversity (10.5) and biomass (43.7) were lower. There was a balance between mortality and recruitment rates, or a balance favoring recruitment, and maintenance or an increase in biomass. CUs subjected to more fire events showed smaller increases in the number of individuals and biomass. The continuity and expansion of this monitoring will help in the development of strategies to improve the management and evaluation of the effectiveness of these CUs in conserving Cerrado's plant diversity.

Aplicación del protocolo avanzado del Programa Monitora en lo monitoreo de plantas leñosas en unidades de conservación del Cerrado

Palabras clave: Dinámica vegetacional; biomasa; diversidad; semejanza.

RESUMEN – El bioma Cerrado está formado por un mosaico de vegetación influenciado por diferentes condiciones ambientales y históricas. Aquí presentamos los resultados de hasta nueve años de monitoreo de plantas leñosas en cinco Unidades de Conservación (UCs): Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins/BA-TO, Parque Nacional de Brasília/DF, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO, Parque Nacional da Serra da Bodoquena/MS y Parque Nacional da Serra do Cipó/MG. Siguiendo el protocolo del Programa Monitora, inventariamos siete unidades de muestreo (cuatro sabanas y tres bosques) en 2014, 2018 y 2023. Se analizó la similitud florística entre áreas, así como la dinámica de la vegetación y biomasa. Hubo baja similitud entre unidades de muestreo en diferentes UCs, reflejando la compleja heterogeneidad fisionómica y biogeográfica. Las sabanas presentaron riqueza entre 41-59 especies, diversidad entre 9,5-12,9 (alfa-Fisher) y biomasa entre 13,4-29,9 Mg/ha. Entre los

bosques, el Parque da Bodoquena (bosque seco) presentó los valores más altos de riqueza (61), diversidad (19,2) y biomasa (145,4), mientras que en el Parque da Serra do Cipó (cerradão) la riqueza (27), la diversidad (10,5) y la biomasa (43,7) fueron menores. Hubo un equilibrio entre las tasas de mortalidad y reclutamiento, o mayor reclutamiento, y mantenimiento o aumento de biomasa. UCs sometidas a más eventos de fuego mostraron menores incrementos en el número de individuos y biomasa. La continuidad y ampliación de este monitoreo ayudará en el desarrollo de estrategias para mejorar la gestión y evaluación de la efectividad de estas UCs en la conservación de la diversidad vegetal del Cerrado.

Introdução

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, é reconhecido por abarcar uma biodiversidade peculiar e única, além de prover serviços ecológicos vitais como a produção de água para as principais bacias hidrográficas do país, bem como abrigar um rico conjunto de comunidades e povos tradicionais. Do ponto de vista dos ecossistemas e paisagens, o Cerrado possui elevada diversidade de formas e tipos de vegetação, reflexo de variações locais e regionais, de fatores como o clima, a origem geomorfológica, topografia, fertilidade e disponibilidade hídrica dos solos, e frequência de distúrbios como o fogo [1][2][3]. Apesar do predomínio das fisionomias abertas representadas por savanas e campos, a vegetação do bioma também contempla florestas úmidas ligadas aos cursos d'água, e florestas estacionais nos interflúvios, além de trechos de brejos e outras áreas úmidas, compondo, dessa forma, um mosaico de diferentes tipos de vegetação, cada qual com sua composição em espécies e estruturas próprias [1][4][5].

Em seus diferentes ambientes, o Cerrado possui rica flora lenhosa, que incorpora tanto elementos típicos e endêmicos do próprio Cerrado, quanto espécies compartilhadas com outros biomas, sobretudo com a Mata Atlântica e Amazônia [2][6][7], mas também com a Caatinga [8] e o Pantanal [9]. Em seus diversos ambientes, a flora lenhosa do Cerrado tem sido amplamente estudada e documentada quanto à composição em espécies e estrutura, distribuição geográfica, determinantes ambientais, e dinâmica da vegetação [10][11][12][13]. Além disso, o componente lenhoso tem sido utilizado como grupo-alvo para o direcionamento e priorização de esforços para conservação da biodiversidade, bem como para avaliação da efetividade das unidades de conservação (UCs) no Cerrado [14], embora o componente arbustivo-herbáceo seja igualmente importante e altamente diverso [15][16].

Um fator relevante que molda a vegetação do Cerrado é a ocorrência de fogo, um elemento natural [1][4][17] nas fitofisionomias savânicas e campestres, onde há elevado acúmulo de biomassa seca devido ao clima sazonal [18][19]. O fogo tem sido apontado como uma ameaça à vegetação e à biodiversidade, especialmente para os grupos de espécies e ambientes mais sensíveis a este elemento [20][21]. Por outro lado, estudos mais recentes têm revelado que a supressão total do fogo em áreas campestres e savânicas naturais pode levar a um adensamento de plantas lenhosas (*woody encroachment*), causando mudanças na composição em espécies e na estrutura da vegetação [22][23], com perda de biodiversidade [17][24][25]. O adensamento lenhoso favorece o estabelecimento e proliferação de espécies lenhosas menos tolerantes ao fogo, em detrimento de espécies herbáceas e arbustivas intolerantes ao sombreamento [26].

O entendimento dos processos dinâmicos (mudanças florísticas e estruturais, capacidade de regeneração, acúmulo ou perda de biomassa, entre outros) envolvendo comunidades vegetais, assim como a verificação da efetividade de conservação da biota nas UCs ao longo do tempo, podem ser efetuados por meio estudos de monitoramentos [27]. Tais estudos consistem basicamente na implantação de unidades amostrais permanentes, com uma medição inicial e medições periódicas da mesma área ou comunidade [28][29]. Dessa forma, programas de monitoramento que integram indicadores de biodiversidade e de variáveis ambientais são fontes de informações valiosas para a tomada de decisão e para a definição de ações voltadas à conservação dos ambientes e de seus recursos naturais [27][30][31].

Em 2011, visando o atendimento de sua missão institucional, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) reformulou seu programa de monitoramento da biodiversidade, conhecido como “Programa Monitora”, apresentando quatro objetivos principais. Esses objetivos compreendem a verificação da efetividade das UCs sobre a

preservação da biodiversidade; o acompanhamento *in situ* das alterações na distribuição e ocorrência das espécies frente às mudanças climáticas e outros vetores de pressão e ameaça; o fornecimento de informações qualificadas e subsídios para avaliar o estado de conservação da flora e fauna brasileira; a implementação de estratégias de conservação de espécies ameaçadas e endêmicas; e o controle de espécies exóticas invasoras. Posteriormente, por volta de 2014, foi iniciada a implantação do Programa Monitora no Cerrado, tendo como um dos seus alvos a flora lenhosa, componente essencial da biota tanto em fitofisionomias savânicas, quanto florestais [32].

O monitoramento de espécies lenhosas no Cerrado, em longo prazo, tem potencial de gerar informações essenciais sobre diferentes aspectos, entre os quais: dinâmica da vegetação e flutuações populacionais das espécies, incluindo as raras ou ameaçadas; estimativas sobre variação da biomassa e estoques de carbono ao longo do tempo; registro e monitoramento de invasões biológicas; avaliações sobre os impactos de distúrbios, em particular o fogo; e análise dos efeitos das mudanças climáticas na vegetação. Além disso, este monitoramento contribui para o registro de espécies que estão sendo conservadas nas UCs, conhecimento este que é bastante precário para boa parte das UCs no Brasil [33]. De modo geral, o monitoramento da vegetação pode contribuir de forma decisiva para o manejo das UCs, gerando informações qualificadas que poderão maximizar a efetividade das estratégias de conservação da diversidade de espécies e de *habitat*.

Em 2021 vieram à público os resultados da implantação do protocolo básico de plantas lenhosas relativos ao período 2014-2018, para quatro UCs do Cerrado [32]. Neste estudo avançamos na análise desses dados, e apresentamos os resultados de até nove anos de monitoramento em cinco UCs, nas quais foi implementado o protocolo avançado do Programa Monitora, que inclui identificação taxonômica dos indivíduos amostrados. Foram objetivos do presente trabalho: (i) comparar a composição em espécies e a similaridade entre áreas (UCs); (ii) avaliar alterações na estrutura e dinâmica da vegetação ao longo dos anos de monitoramento, incluindo as taxas de mortalidade, recrutamento e variações de biomassa; e (iii) analisar variações na abundância das principais espécies em cada UC. Com base nos resultados e avaliações realizadas, no final do trabalho registramos algumas recomendações concernentes ao monitoramento de plantas lenhosas em UCs do Cerrado.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado em unidades amostrais (UA) do Programa Monitora alocadas em cinco UCs no Cerrado, abrangendo diferentes condições latitudinais, topográficas, edáficas, climáticas e fitofisionômicas (Figura 1; Tabela 1). As cinco UCs amostradas foram: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT), localizada na divisa dos estados de Tocantins e Bahia; Parque Nacional de Brasília (PNB), no Distrito Federal; Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), em Goiás; Parque Nacional da Serra da Bodoquena (PNSB), no Mato Grosso do Sul; e Parque Nacional da Serra do Cipó (PNSC), em Minas Gerais. Além das diferenças climáticas, edáficas e fisionômicas, as unidades amostrais diferem entre si no histórico de fogo (Tabela 1), conforme se verifica por dados de cicatrizes de fogo disponíveis na plataforma Mapbiomas [34].

Na EESGT o relevo é plano e a vegetação predominante da amostragem foi classificada como cerrado sentido restrito (s.s.), onde há os subtipos ralo e típico [1], variando a cobertura arbórea de 20 a 60%, e contendo um estrato herbáceo denso. O solo é arenoso e há manchas do terreno com solo exposto. Nessa UC foram instaladas duas UAs, ambas localizadas no estado da Bahia, distantes 5 km entre si. Em ambas UAs havia evidências de fogo recente durante a amostragem de 2018. Pelas cicatrizes de fogo na plataforma Mapbiomas [34] verificamos que a UA nº 1 queimou dez vezes desde 1985, e a UA nº 2 queimou cinco (Tabela 1).

No PNB o relevo é predominantemente plano e a vegetação no local da UA é uniforme, tratando-se de um cerrado s.s. denso [1], com cobertura arbórea variando de 50 a 70% e cobertura herbácea de baixa a média densidade. O solo é um Latossolo vermelho profundo. Adjacente à UA, existem duas nascentes que comportam espécies características de matas de galeria [1]. De maneira geral, os troncos das árvores desta UA não apresentavam resquícios ou sinais de fogo, sendo que entre 1985 e 2022 foi registrada apenas uma ocorrência de fogo no local, exatamente em 1985 (Tabela 1) [34]. Este fato é comprovado pela presença de algumas espécies de epífitas nas árvores, plantas incomuns nessa fitofisionomia por serem sensíveis ao fogo frequente.

No PNCV a UA foi instalada em local com relevo plano a suave-ondulado, e a vegetação predominante é o cerrado s.s. típico [1], cuja cobertura arbóreo-

arbustiva variou entre 40 a 70%, contendo pequenos trechos de cerrado ralo, com cobertura arbórea entre 20 e 50%. O solo é arenoso, apresentando cascalho de canga (laterita ferruginosa), com cobertura sub-arbustivo-herbácea heterogênea variando entre algumas das subunidades da UA. O estrato herbáceo é denso em toda a UA. De 1985 até 2022 foram registrados sete episódios de fogo no local [34] (Tabela 1). Na amostragem de 2023, verificou-se que parte da vegetação de duas subunidades da UA apresentava sinais de evento recente de fogo.

No PNSB o relevo é bastante ondulado com morros íngremes e pedras empilhadas, caracterizadas por conspícuos afloramentos de rocha calcária, onde a vegetação predominante é a mata seca decídua e semidecídua [1]. Nesse tipo de *habitat* o solo é bastante fértil, porém raso, não permitindo o acúmulo de água. Destaca-se que o clima no PNSB apresenta menor sazonalidade quando comparado às demais UCs. Nesta UC foram instaladas duas UAs distantes 60 km entre si. Na UA nº 1 a vegetação é uniforme de mata seca e encontra-se em bom estado de conservação.

Já a vegetação na UA nº 2 é relativamente mais variada, com metade da área coberta por mata seca sobre afloramento calcário, e a outra metade situada em área sazonalmente inundável. Não houve registro de fogo entre 1985 e 2022 em nenhuma das UAs amostradas [34] (Tabela 1).

No PNSC a UA foi instalada em área de relevo levemente ondulado onde a vegetação predominante é classificada como cerradão [1]. Duas subunidades da UA interceptaram um pequeno vale de incisão intermitente (grotas), contendo ali uma vegetação de maior porte e densidade do que a porção que fica fora da grotas. O estrato herbáceo estava presente em toda a área, em alguns trechos mais ralo, próximo às grotas, e em outros com densidade média dividindo espaço com o estrato arbóreo-arbustivo regenerante. Entre 1985 e 2022 a área foi atingida por fogo apenas uma vez, em 2020 [34] (Tabela 1). Não obstante, foram verificadas árvores chamuscadas no levantamento de 2018, mostrando que algum evento de fogo pode não ter sido registrado pelos satélites de monitoramento.

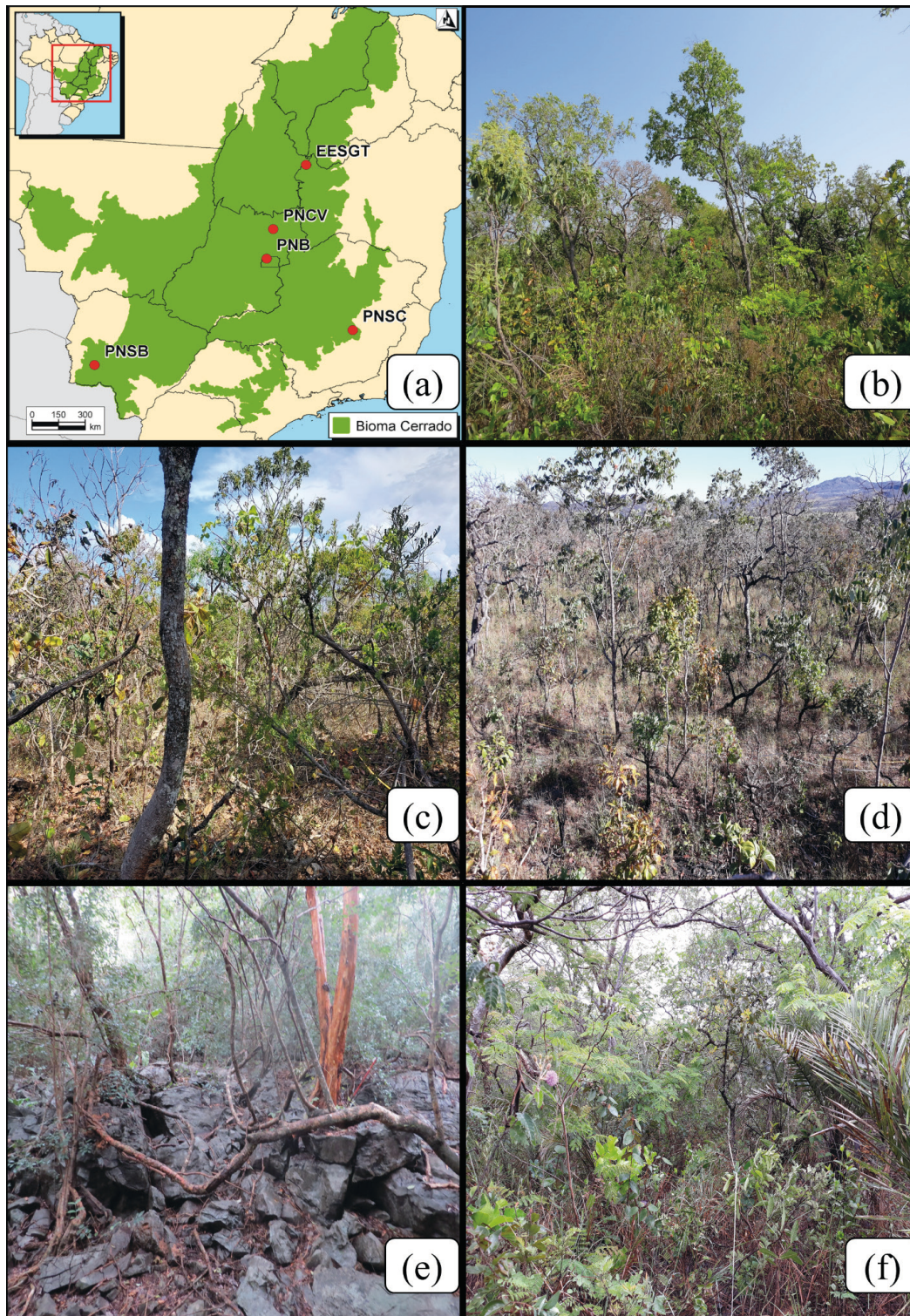


Figura 1 – A = Localização das UCs do Cerrado amostradas no Programa Monitora. Exemplos de vegetação amostrada em cada UC; B = EESGT (Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins); C = PNB (Parque Nacional de Brasília); D = PNCV (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros); E = PNSB (Parque Nacional da Serra da Bodoquena); F = PNSC (Parque Nacional da Serra do Cipó).

Tabela 1 – Parâmetros gerais das unidades amostrais (UAs) para plantas lenhosas do Programa Monitora localizadas em cinco unidades de conservação (UCs) do Cerrado, em diferentes unidades da federação (UFs): EESGT (Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins); PNB (Parque Nacional de Brasília); PNCV (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros); PNSB (Parque Nacional da Serra da Bodoquena); PNSC (Parque Nacional da Serra do Cipó). Clima [35]: Cwa = subtropical com verão quente; Aw = tropical com inverno seco; Af = tropical sem estação seca. Prec. = precipitação anual média (mm). Solo (*sensu* [36]): LAd = Latossolo Amarelo Distrófico; LVd = Latossolo Vermelho Distrófico; RLd = Neossolos Litólicos Distróficos; MDo = Chernossolos Rêndzicos Órticos. CAS = circunferência à altura de solo (cm); CAP = circunferência à altura do peito (cm). Lat/Long = coordenada do centro da UA. Alt. = altitude do centro da UA. Histórico de fogo [34] = anos em que foram registradas queimadas no período 1985 a 2022. Freq. Fogo = número de registros de fogo no período 1985 a 2022.

UC	UF	Clima	Prec. (mm)	Solo	Critério de inclusão	Nº de UA	Datas de amostragem (mês/ano)	Lat/Long	Alt. (m)	Vegetação	Histórico de fogo	Freq. Fogo
EESGT	BA, TO	Aw	1370	LAd	CAS ≥ 15	2	03/2015; 04/2018	10°42'58"S 45°58'23"O	696	cerrado s.s.	1986; 1992; 1998; 2001; 2004; 2007; 2010; 2015; 2017; 2019	10
							01/2015; 04/2018	10°40'16"S 45°58'18"O	703	cerrado s.s.	1989; 1998; 2004; 2007; 2010	5
PNB	DF	Aw	1477	LVd	CAS ≥ 15	1	10/2014; 07/2018; 08/2023	15°36'32"S 47°58'12"O	1209	cerrado s.s.	1985	1
PNCV	GO	Aw	1675	RLd	CAS ≥ 15	1	09/2018; 09/2023	14°04'04"S 47°38'20"O	1202	cerrado s.s.	1988; 1993; 1995; 1998; 2000; 2003; 2010; 2023	8
PNSB	MS	Af/Aw	1684	MDo	CAP ≥ 31	2	08/2014; 10/2019; 11/2023	21°30'36"S 56°44'43"O	523	mata seca	-	0
							06/2015; 10/2019; 11/2023	20°58'13"S 56°42'42"O	683	mata seca/ vegetação inundável	-	0
PNSC	MG	Cwa	1500	RLd	CAP ≥ 31	1	05/2014; 09/2018	19°21'18"S 43°36'39"O	818	cerradão	2021	1

Amostragem da vegetação

A amostragem da vegetação foi feita utilizando-se UAs conhecidas como conglomerados, ou cruzeiros-de-malta [30], as quais são formadas por quatro subunidades (pás ou parcelas) de 20 x 50 m cada, distantes 50 m de um ponto central. Cada subunidade da UA foi disposta respeitando os quatro pontos cardeais, seguindo o protocolo metodológico de monitoramento de plantas lenhosas [27]. Esse mesmo protocolo tem sido utilizado no Inventário Florestal Nacional-Cerrado [37]. As UAs foram instaladas pela equipe do ICMBio em 2014, com a implantação do protocolo básico de monitoramento [32], o qual consiste na delimitação das unidades amostrais, marcação dos indivíduos arbóreos, arbustivos e palmeiras com placas metálicas numeradas, e a realização de medições dendrométricas (altura total e circunferência à 1,30 m de altura do solo/CAP, ou circunferência à 0,30 m de altura do solo/CAS) dos indivíduos lenhosos, sem que se procedesse a sua identificação botânica. Em 2018/2019 foi realizada a segunda medição dos indivíduos nas UAs, quando foi implantado o protocolo avançado de monitoramento, com a identificação taxonômica de todos os indivíduos amostrados.

Dois critérios mínimos para inclusão de indivíduos na amostragem foram utilizados. Nas unidades amostrais com vegetação savânica (EESGT, PNCV e PNB), onde predominam árvores de menor porte e arbustos, foi adotado o critério de CAS ≥ 15 cm. Já nas unidades amostrais de fisionomia florestal (PNSB e PNSC), onde ocorrem árvores de maior porte, foram amostrados todos os indivíduos com CAP ≥ 31 cm [27,30]. Para EESGT, PNCV e PNB, além do CAS, foi registrada a CAP para indivíduos com CAP ≥ 31 cm. As medições da circunferência do tronco foram feitas utilizando-se fita métrica, e a altura dos indivíduos estimada visualmente. Indivíduos que atingiram o critério mínimo de inclusão no intervalo entre levantamentos foram plaqueados e medidos, sendo estes considerados os recrutas. Indivíduos mortos entre levantamentos foram aqueles encontrados caídos e também os mortos ainda em pé, ou aqueles eventualmente não encontrados pela equipe de campo.

A implantação do protocolo avançado, bem como a realização da segunda e terceira medições, foram realizadas sob liderança da equipe da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Cenargen), com apoio do ICMBio. Na maioria dos levantamentos a

equipe era formada por quatro pessoas trabalhando entre três a cinco dias a cada ciclo de medição. Coletas botânicas foram realizadas em todas as UAs, e os materiais coletados estão depositados no herbário CEN, do Cenargen em Brasília/DF. A amostragem da vegetação no PNCV foi realizada apenas parcialmente em 2014 e, portanto, a análise dessa UC considerou apenas os dados a partir da segunda medição em 2018. Não foi possível realizar a terceira medição em 2023 na EESGT e no PNSC, de modo que os resultados apresentados para essas duas UCs tratam apenas das medições realizadas em 2014 e 2018. O histórico das amostragens realizadas encontra-se na Tabela 1.

Ressalta-se que comparações entre as diferentes métricas apresentadas para cada UCs devem ser vistas com cautela, considerando diferenças na quantidade de UAs monitoradas, assim como o critério de inclusão adotado em cada uma delas (protocolo para savanas ou florestas), o que resulta em esforço amostral desigual entre UCs.

Riqueza em espécies e similaridade da flora entre UCs

Dados do inventário de 2018, ano para o qual há informações disponíveis para todas UCs, foram utilizados nas análises sobre estimativa de riqueza e comparações da composição em espécies entre UCs. A riqueza em espécies do inventário de 2018 foi estimada para cada UC usando técnicas combinadas de rarefação e extrapolação [38]. A curva do número de espécies em função do número de indivíduos amostrados foi elaborada usando o pacote 'iNEXT' [39][40], no ambiente estatístico R [41]. O intervalo de confiança de 95% foi obtido a partir de 1.000 interações de bootstrap [40], e a riqueza extrapolada para um total de 2.000 indivíduos. Nesta análise consideramos dados agregados de todas UAs presentes em cada UC.

Diferentes análises foram realizadas para explorar as variações na composição em espécies nas UCs amostradas. Elaboramos um diagrama de Venn para representar o número de espécies compartilhadas entre as UCs, bem como aquelas ocorrendo estritamente em cada UC, utilizando o pacote "VennDiagram" [42].

As dissimilaridades na abundância relativa entre combinações de pares de amostras (subunidades das UAs) foram calculadas utilizando o índice de Bray-Curtis, uma métrica amplamente utilizada para avaliar

a composição em comunidades biológicas [43]. Essa métrica foi escolhida devido à sua sensibilidade às variações na abundância relativa, proporcionando uma representação robusta das diferenças entre as amostras. A matriz de dissimilaridade resultante, representando a divergência entre todas as amostras, foi utilizada nas análises subsequentes. Uma análise de escalonamento multidimensional não-métrico (“non-metric multidimensional scaling” – NMDS) foi conduzida para visualizar a dissimilaridade entre as amostras em um espaço bidimensional, usando o pacote ‘vegan’ [44]. O método NMDS foi escolhido para preservar as relações de dissimilaridade original da matriz, proporcionando uma representação gráfica eficaz das diferenças entre as amostras. Além disso, um dendrograma de agrupamento aglomerativo e hierárquico foi construído utilizando o método UPGMA (“Average Linkage”), a partir da matriz de dissimilaridade [45]. O método UPGMA é apropriado para dados de abundância, sendo sensível às diferenças na composição da comunidade. Essa abordagem hierárquica permitiu a formação de grupos de amostras com composição em espécies mais semelhantes entre si. O dendrograma resultante foi interpretado em conjunto com a análise de NMDS, proporcionando verificações sobre a composição em espécies das amostras em diferentes escalas de dissimilaridade e a compreensão da variabilidade nas comunidades estudadas.

Dinâmica da vegetação

A análise da dinâmica da vegetação nas diferentes UCs considerou o número de indivíduos vivos, de indivíduos que morreram e de indivíduos recrutados em cada um dos levantamentos, assim como o tempo transcorrido entre levantamentos, conforme usualmente aplicado em estudos de monitoramento florestal [28].

A dinâmica da vegetação arbórea foi examinada a partir das taxas anuais médias de mortalidade e de recrutamento utilizando-se modelos exponenciais [46], os quais consideram mudanças no tamanho da comunidade por intervalo de tempo em proporção constante ao tamanho inicial da comunidade.

Os dados de mortalidade e recrutamento foram calculados na forma de taxas percentuais anualizadas (% ao ano), de modo que variações nos intervalos de tempo entre inventários não interferissem na comparação entre esses parâmetros. Algumas UAs foram medidas pela primeira vez em 2014 e outras em 2015 e, para a segunda medição,

algumas foram medidas em 2018, enquanto outras em 2019 (Tabela 1). Porém, para padronizar a apresentação dos gráficos e tabelas nos resultados, levantamentos feitos 2015 e 2019 foram tratados como 2014 e 2018, respectivamente.

Também foram realizadas análises da variação da abundância das principais espécies presentes em cada UC, ao longo dos levantamentos e dinâmicas populacionais, considerando as espécies mais importantes segundo o índice de valor de importância [47]. Para isso, considerou-se a densidade de indivíduos (ind./ha) de cada espécie nos inventários e foram avaliadas as tendências gerais.

Estimativas de biomassa

A biomassa aérea individual (B) foi estimada segundo três equações volumétricas para cada tipo de fitofisionomia. Para as UCs com cobertura savânica de cerrado s.s. (EESGT, PNB e PNCV) foi usada a equação genérica para biomassa seca $B = 0,49129 + 0,02912 * DAS^2 * H$, onde DAS = diâmetro a 30 cm do solo, em cm e H = altura total em metros [48]. Para o cerrado (PNSC) foi usada a equação $B = 231600 + 11600 * (DAP^3 * H * \rho)^{0,71} / (231600 + (DAP^3 * H * \rho)^{0,71})$, onde DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo em cm, H = altura total em metros, ρ = densidade da madeira da espécie em g/cm³ [49]. Para a mata seca (PNSB) foi usado o modelo global $B = 0,0673 * (DAP^2 * H * \rho)^{0,976}$ [50]. A densidade da madeira para cada espécie amostrada foi extraída de bases de dados disponíveis para árvores do Cerrado [51][52][53] árvores tropicais [54]. Para as espécies que não apresentavam informação sobre densidade da madeira nessas referências, foram utilizados os valores médios do respectivo do gênero, disponíveis em Chave et al. [54]. As estimativas de biomassa seca em Mg/ha para cada UC, nos diferentes levantamentos, são apresentadas na forma de média entre subunidades e erro padrão associado.

Resultados

As cinco UCs do Cerrado amostradas apresentaram grande variação nos diferentes parâmetros calculados, considerando os dados para o ano de 2018 (Tabela 2). A unidade amostral com maior abundância de indivíduos por hectare foi o PNB (3.093 ind/ha), seguido pelas unidades PNCV (2.375), EESGT (663), PNSB (554) e PNSC (308).

A maior riqueza em espécies foi verificada no PNSB (61 espécies em 28 famílias botânicas), seguido por PNB (59 e 27), PNCV (44 e 21), EESGT (41 e 20) e PNSC (27 e 15). O índice de diversidade alpha-Fisher

acompanhou apenas parcialmente a riqueza em espécies, com a maior diversidade no PNSB (19,2), seguida pelo PNB (12,9), PNSC (10,7), EESGT (10,4) e PNCV (9,5) (Tabela 2).

Tabela 2 – Estatísticas da composição em espécies e estrutura de plantas lenhosas em cinco UCs do Cerrado, baseada no levantamento de 2018. EESGT (Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins); PNB (Parque Nacional de Brasília); PNCV (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros); PNSB (Parque Nacional da Serra da Bodoquena); PNSC (Parque Nacional da Serra do Cipó). CAS = circunferência à altura do solo; CAP = circunferência à altura do peito. Valores referentes à altura, CAP, CAS, densidade da madeira e biomassa individual são representados pelas médias por indivíduo, seguidas por desvio padrão.

Parâmetros	EESGT	PNB	PNCV	PNSB	PNSC
N. de indivíduos	530	1.237	950	443	123
Abundância (ind/ha)	663	3.093	2.375	554	308
Espécies	41	59	44	61	27
Gêneros	33	49	34	54	25
Famílias	20	27	21	28	15
Alpha-Fisher	10,4	12,9	9,5	19,2	10,7
Altura (m)	3,8±2,2	3,6±1,4	3,0±1,6	12,9±5,7	7,1±2,7
CAP (cm)	47,3±16,4	45,0±13,5	41,5±10,4	60,0±34,2	59,9±35,7
CAS (cm)	30,9±16,3	25,7±11,5	24,1±9,5	-	-
Densidade da madeira (g/cm ³)	0,65±0,11	0,63±0,08	0,67±0,12	0,60±0,15	0,61±0,12
Biomassa individual (Mg)	0,02±0,04	0,01±0,02	0,01±0,02	0,26±0,50	0,14±0,32
Biomassa por área (Mg/ha)	13,40	29,89	18,09	145,40	43,48

As unidades que visualmente mais se aproximaram da assíntota do gráfico de acumulação de espécies observadas (Figura 2a) foram PNCV e PNB, apesar das curvas extrapoladas indicarem que o esforço amostral ainda não foi suficiente para retratar a riqueza de todas as áreas. As amostragens realizadas na EESGT e no PNSB situaram-se no ponto de inflexão do gráfico e apresentaram intervalo de confiança para o estimador de riqueza *bootstrap* mais abrangente que PNCV e PNB. Já a amostragem do PNSC situou-se antes da inflexão gráfica, ficando no ponto de maior acúmulo de espécies, com o maior intervalo de confiança para o estimador de riqueza que as demais UCs, revelando insuficiência amostral para riqueza em espécies nessa UC (Figura 2a).

O compartilhamento de espécies foi baixo entre as unidades. Consequentemente, muitas espécies foram exclusivas de suas localidades (Figura 2b). PNSB, coberto predominantemente por mata seca, apresentou 97% de espécies exclusivas, seguido pela EESGT (46% – cerrado s.s.), PNB (44% – cerrado s.s.), PNCV (38% – cerrado s.s.) e pelo PNSC (33% – cerrado). Nenhuma espécie foi compartilhada por todas as UCs. O PNSB foi a UC que compartilhou menos espécies com as demais, compartilhando apenas uma espécie com a EESGT e uma espécie com o PNB. Por outro lado, PNB e PNCV compartilharam 10 espécies entre si, sendo as UCs com maior similaridade florística, ainda que esta seja baixa. Outros compartilhamentos, ainda menos

expressivos, foram verificados entre as UCs EESGT, PNB e PNCV (compartilhando de duas a seis espécies

entre si). A lista contendo todas as espécies registradas em cada UC é apresentada no Apêndice 1.

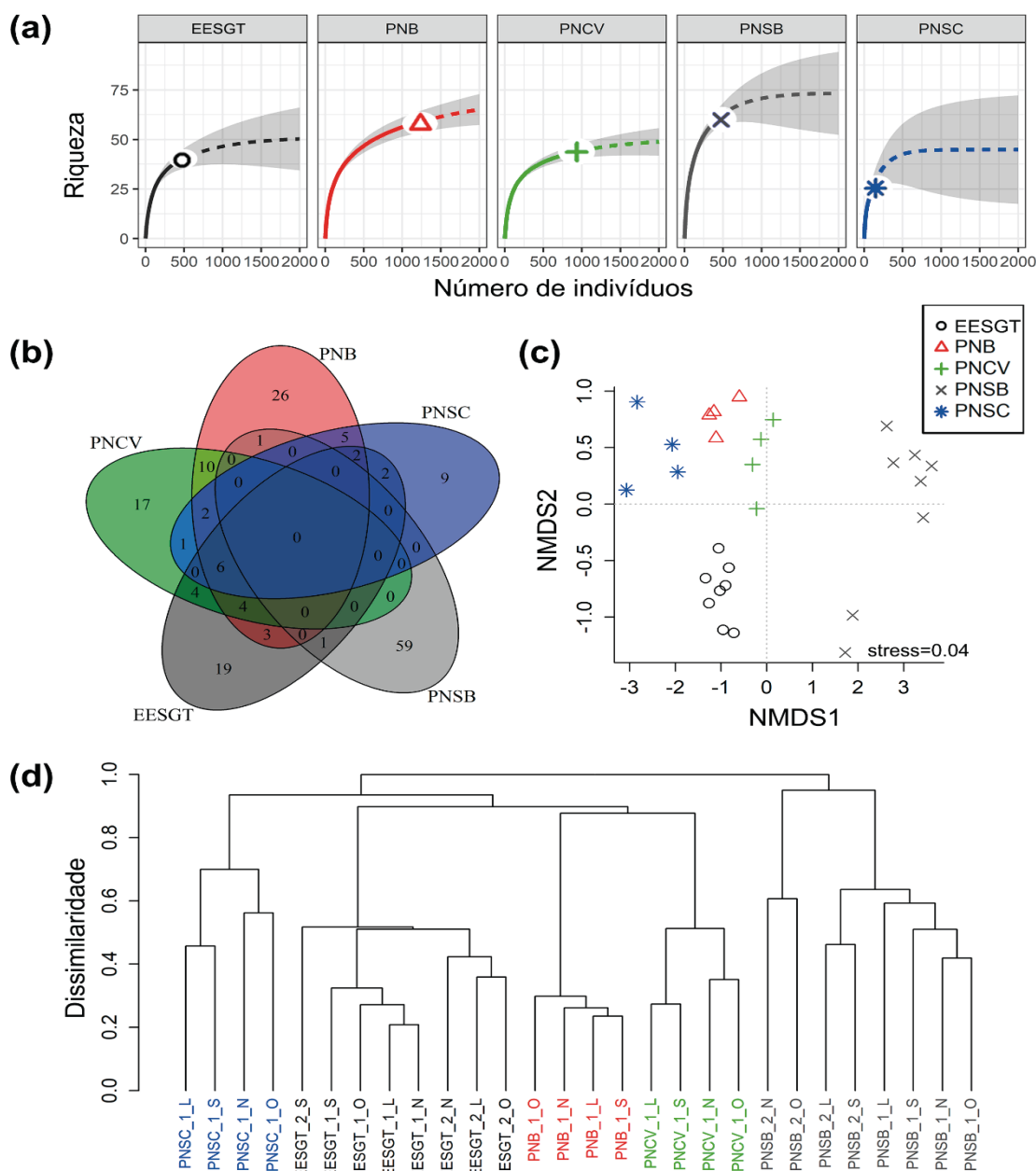


Figura 2 – Esforço amostral, riqueza e similaridade de espécies de plantas lenhosas entre cinco UCs do Cerrado do Programa Monitora. A = curva do número de espécies por quantidade de indivíduos amostrados (linhas sólidas) e extrapolação da curva baseada em 1.000 iterações pelo estimador *bootstrap* (linha tracejada); B = diagrama de Venn apresentando espécies exclusivas e compartilhadas entre as UCs; C = análise de ordenação NMDS mostrando a variação na composição em espécies entre UCs; D = dendrograma de dissimilaridade (UPGMA) na composição em espécies entre UCs. “(c)” e “(d)” calculadas com base na matriz de dissimilaridade (Bray-Curtis) da abundância relativa de espécies em cada subunidade. Notar que o esforço amostral variou entre UCs. EESGT (Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins); PNB (Parque Nacional de Brasília); PNCV (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros); PNSB (Parque Nacional da Serra da Bodoquena); PNCV (Parque Nacional da Serra do Cipó).

As diferenças e particularidades de cada área amostrada evidenciaram baixa similaridade entre as unidades, expressa na análise de ordenação NMDS (Figura 2c), bem como no dendrograma de dissimilaridade (Figura 2d). A variação estrutural capturada pelo primeiro eixo da ordenação (NMDS1) mostrou um gradiente florístico, cujos extremos são o PNSB e PNSC, respectivamente, cobertos pelas formações florestais de mata seca e cerrado. Nesse eixo do NMDS, os símbolos representando as subunidades do PNB, PNCV e EESGT ficaram mais próximos entre si, ocupando posição central no gradiente florístico, representando a vegetação de cerrado s.s. (Figura 2c). O segundo eixo (NMDS2) indicou a maior particularidade e diferenças estruturais nas subunidades da EESGT, cuja vegetação é a mais aberta das UCs comparadas. Esse eixo também destacou duas subunidades do PNSB, que ficaram totalmente isoladas, pois ocupam ambientes sujeitos a inundação (vegetação inundável), distintos dos demais ambientes nesta UC. Resultados similares

podem ser verificados no dendrograma UPGMA (Figura 2d), onde as subunidades pertencentes a cada uma das UCs formaram grupos bem discriminados, com as UCs apresentando elevada dissimilaridade florística entre si, maiores que 80%.

A análise de dinâmica das vegetações demonstrou que três UCs (EESGT, PNB e PNSB) apresentaram tendência de aumento do número de indivíduos ao longo do tempo, ou seja, taxas de recrutamento maiores do que as taxas de mortalidade, enquanto PNCV e PNSC apresentaram tendência de estabilidade (Figura 3). As maiores taxas médias de mortalidade registradas, cerca de 3% ao ano, foram observadas na EESGT, PNB e PNCV. Já a maior taxa de recrutamento (4,5% ao ano) foi observada no PNB (2014-2018). Dentre as UCs onde houve três medições, o PNB apresentou tendência de redução nas taxas de mortalidade e recrutamento entre os intervalos de 2014-2018 e 2018-2023, enquanto que PNSB apresentou aumento nesses dois parâmetros entre os períodos.

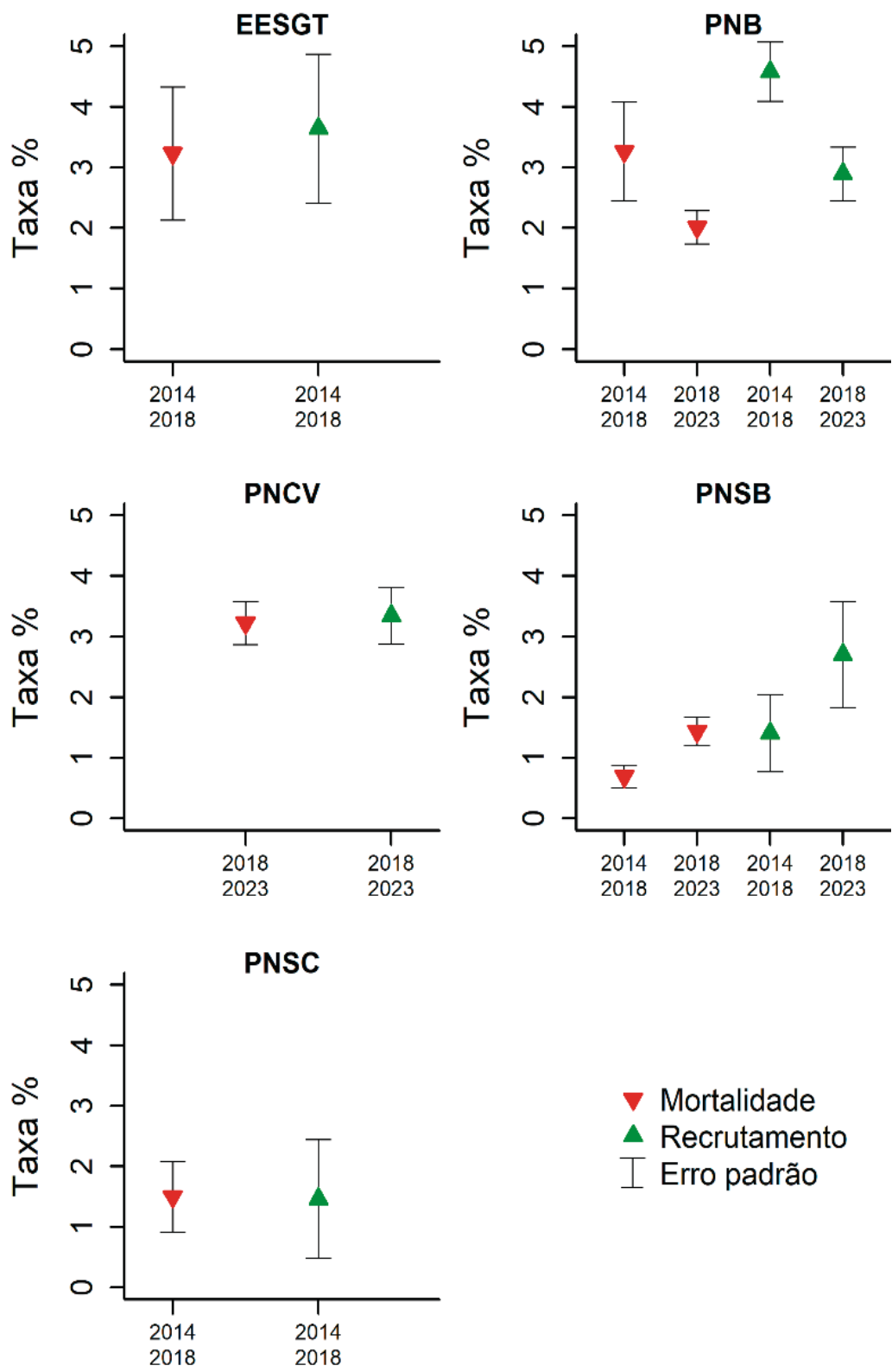


Figura 3 – Taxas anuais de mortalidade e recrutamento (média das subunidades e erro padrão) de plantas lenhosas para cada um dos períodos amostrados nas cinco UCs do Cerrado do Programa Monitora. EESGT (Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins); PNB (Parque Nacional de Brasília); PNCV (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros); PNSB (Parque Nacional da Serra da Bodoquena); PNSC (Parque Nacional da Serra do Cipó).

Com relação à biomassa, o PNSB foi a UC que apresentou maiores valores para esse parâmetro em todos os anos de levantamento (cerca de 145 Mg/ha), sendo também a UC com maiores valores médios de CAP e altura (Tabela 2; Figura 4). O cerrado do PNSC, outra formação florestal, apresentou o segundo maior valor de biomassa, com cerca de 43 Mg/ha, assim como apresentou os segundos maiores valores de CAP e altura. Em sequência, vieram as UC cobertas por cerrado s.s. Em ordem decrescente, a maior biomassa ocorreu no PNB com cerca de 29 Mg/ha, seguido por PNCV com 18 Mg/ha e EESGT com 13 Mg/ha. Entre 2014 e 2018 o PNB teve incremento de biomassa, enquanto o PNSC uma pequena perda (Figura 4). Deve ser destacado que o critério de inclusão de indivíduos na amostra (CAP para florestas e CAS para savanas), interfere nesse conjunto de dados, de modo que essa comparação direta deve ser feita com parcimônia. Como esperado, os menores valores de biomassa foram registrados na EESGT, onde predomina o cerrado s.s. com menor densidade de indivíduos. PNCV, PNB e PNSB apresentaram tendência de incremento de biomassa ao longo do tempo, enquanto que EESGT e PNSC apresentaram estabilidade entre as duas medições realizadas nessas UCs (Figura 4).

Com relação à variação na abundância (número de indivíduos por hectare) das espécies mais importantes em cada UC, houve tendências bastante variadas na dinâmica das espécies. Na EESGT *Qualea parviflora*, *Salvertia convallariodora* e *Hirtella ciliata*

apresentaram tendência de estabilidade na abundância de indivíduos. Por outro lado, *Vellozia squamata* e *Tachigali subvelutina* apresentaram tendência de aumento, com destaque para *T. subvelutina* (Figura 5). No PNB a espécie mais abundante, *Miconia albicans*, mostrou tendência de diminuição na abundância, registrando alta mortalidade entre 2014 e 2023. Dentre as demais espécies importantes, *Kielmeyera coriacea* apresentou tendência de diminuição na abundância, *Dalbergia miscolobium* e *Roupala montana* apresentaram tendência de aumento, e *Caryocar brasiliense* e *Miconia ferruginata* apresentaram estabilidade (Figura 5). No PNCV a espécie mais abundante foi *Callisthene mollissima*, a qual apresentou ligeira tendência de diminuição na abundância, mas ainda se mantendo como a espécie mais importante na comunidade. As demais espécies foram consideravelmente menos abundantes, e apresentaram tendência de manutenção no número de indivíduos, exceto *T. subvelutina*, que apresentou tendência de aumento (Figura 5). No PNSB todas as espécies mais importantes apresentaram tendência de incremento no número de indivíduos, com exceção de *Ceiba speciosa* que apresentou estabilidade (Figura 5). No PNSC *Pterodon emarginatus* e *Pouteria torta*, espécies mais abundantes na comunidade, mantiveram suas abundâncias entre 2014 e 2018. Já *Caryocar brasiliense* e *Annona crassiflora* aumentaram suas abundâncias no período, enquanto *Hymenaea stigonocarpa* apresentou tendência de diminuição (Figura 5).

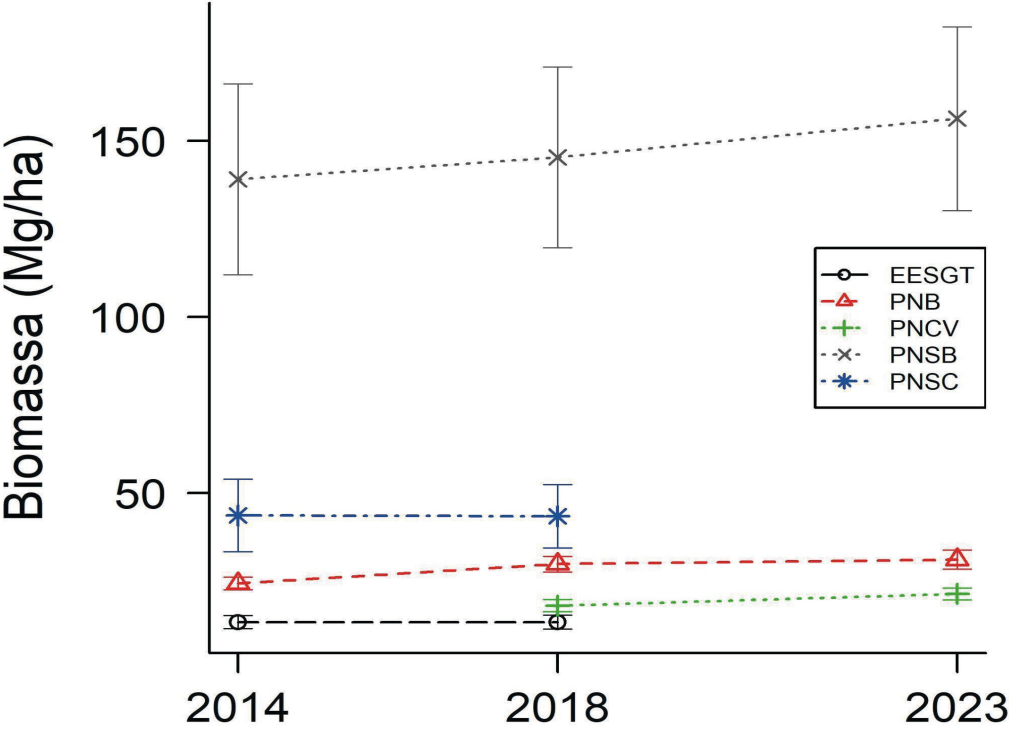


Figura 4 – Variação da biomassa aérea (média das subunidades e erro padrão) da vegetação lenhosa nas cinco UCs do Cerrado do Programa Monitora entre 2014 e 2023. EESGT (Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins); PNB (Parque Nacional de Brasília); PNCV (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros); PNSB (Parque Nacional da Serra da Bodoquena); PNSC (Parque Nacional da Serra do Cipó).

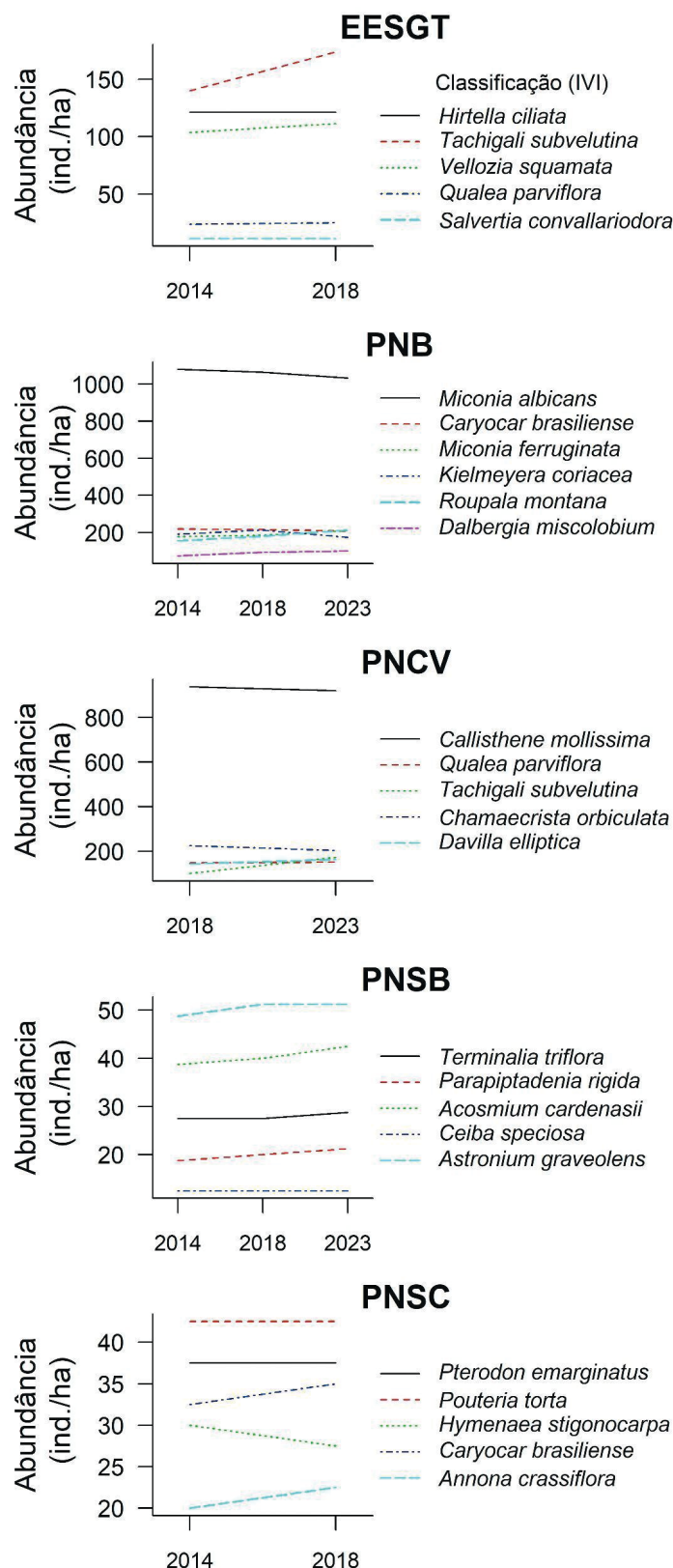


Figura 5 – Variação na abundância das principais espécies de plantas lenhosas (de acordo com o ranque do IVI) registradas nas cinco UCs do Cerrado do Programa Monitora. EESGT (Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins); PNB (Parque Nacional de Brasília); PNCV (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros); PNSB (Parque Nacional da Serra da Bodoquena); PNSC (Parque Nacional da Serra do Cipó).

Discussão

Composição e similaridade

Este estudo abordou os resultados de nove anos de monitoramento da flora lenhosa em duas UCs do Cerrado (PNB e PNSB); o monitoramento de quatro anos em duas outras (EESGT e PNSC) e de cinco anos em uma delas (PNCV). Essas UCs estão localizadas em áreas do bioma bastante distintas e geograficamente distantes, o que se refletiu em diferenças na flora amostrada. A baixa similaridade calculada em UAs localizadas nas diferentes UCs releva comunidades de espécies lenhosas distintas, resultado da complexa heterogeneidade ambiental característica do bioma.

Considerando a proposta de ecorregiões do Cerrado, sugerida por Sano et al. [3], na qual o bioma é dividido em grandes macrorregiões com base em características climáticas, geomorfológicas, topográficas e edáficas, apenas PNB e PNCV se encontram na mesma ecorregião (Planalto Central). Essa semelhança em termos ambientais, provavelmente relacionada à menor distância geográfica entre elas (são as mais próximas dentre as cinco UCs amostradas – ver Figura 1), explicaria a maior similaridade na composição em espécies entre essas UCs. Por outro lado, as demais UCs estão localizadas em ecorregiões diferentes [3]: EESGT – Araguaia Tocantins; PNSB – Complexo Bodoquena; e PNSC – Alto São Francisco. Essas três UCs possuem condições ambientais, climáticas e edáficas distintas, além de histórias ecológicas e posições geográficas também diferentes (a latitude varia desde 15° até 21°S e a longitude de 45° a 56° W), o que influencia suas respectivas floras. Vale ressaltar ainda, que essas três unidades estão mais próximas de bordas do bioma, portanto, mais próximas das áreas de ecótono ou transição ecológica. Enquanto EESGT está próxima ao bioma Caatinga, PNSC está contíguo à Mata Atlântica, e PNSB está próximo dos biomas Pantanal e Chaco.

Nesse cenário, poucas espécies foram compartilhadas entre quatro ou mais UCs, dentre elas *Aspidosperma tomentosum*, *Hymenaea stigonocarpa*, *Kielmeyera coriacea*, *Leptolobium dasycarpum*, *Qualea parviflora* e *Tachigali subvelutina*, todas consideradas de ampla ocorrência e oligárquicas nas fisionomias savânicas do Cerrado [10]. Por outro lado, a baixa similaridade registrada nas amostras de cerrado s.s. nas diferentes UCs reflete a já conhecida existência de regionalismos florísticos no bioma,

ou seja, diferentes conjuntos de espécies lenhosas dominam os ambientes savânicos nos distritos ou províncias biogeográficas identificados no Cerrado [2][10][14]. Como exemplo, espécies típicas da porção norte/nordeste do Cerrado como *Caryocar cuneatum*, *Hirtella ciliata*, *Mouriri elliptica* e *Vochysia gardneri* [2], foram registradas na EESGT, enquanto *Aspidosperma tomentosum*, *Dalbergia miscolobium*, *Eriotheca pubescens* e *Salacia crassifolia*, espécies indicadoras da porção central do Cerrado [14], ocorreram no PNB.

A singularidade da flora amostrada na mata seca do PNSB, UC que compartilhou apenas duas espécies com as demais UCs aqui investigadas, e mesmo com o PNSC (que é um cerradão), bem destaca a heterogeneidade florística que compõe as diferentes fitofisionomias presentes no Cerrado. A vegetação do PNSB está associada à formação geológica da Serra da Bodoquena [3], uma região caracterizada por afloramentos rochosos de calcário, solos com elevada concentração de nutrientes, porém, com capacidade reduzida de retenção de água. Essas condições edáficas contrastam com a baixa concentração de nutrientes e elevada acidez da maioria dos solos das áreas abertas do Cerrado, e até mesmo áreas de cerradão distrófico. No PNSB predominam espécies arbóreas, grande parte delas decíduas, típicas das matas secas ou florestas estacionais encontradas em diversos pontos do território brasileiro, que incluem elementos da Mata Atlântica, da Amazônia e também do Chaco (p.ex. [55]). Por óbvio, é baixa a ocorrência de espécies arbóreas típicas das savanas do bioma, como se verificou nas demais UCs.

Além de apresentar a flora mais singular, o PNSB destacou-se em termos de riqueza e diversidade em espécies, mesmo tendo sido apenas a quarta UC em número de indivíduos amostrados. Contribuiu para a elevada riqueza no PNSB a amostragem realizada em duas UAs, com condições ambientais heterogêneas. Em uma dessas UAs, parte da amostragem ocorreu em local sujeito à inundação sazonal, o que fez com que espécies típicas deste ambiente fossem incluídas na amostragem, elevando assim a riqueza total observada para essa UC.

O PNB destacou-se como o local de maior riqueza em espécies entre as UCs com cerrado s.s. Contribuíram para tal a alta densidade de indivíduos e a proximidade da UA com matas de galeria, de modo que foram amostradas algumas espécies típicas dessa formação florestal como: *Copaifera langsdorffii*, *Cybianthus gardneri*, *Miconia cuspidata* e *Ocotea minarum* [56]. Essas espécies arbóreas podem ter

se beneficiado da baixa frequência de fogo na área amostral, considerando que o último registro de fogo no PNB ocorreu em 1985. A ausência de fogo nesses mais de 30 anos deve ter contribuído para a colonização e proliferação dessas espécies de mata, avançando sobre o cerrado.

PNCV e EESGT, duas áreas de cerrado com menor densidade de plantas lenhosas do que aquela registrada no PNB, apresentaram valores de riqueza e diversidade semelhantes. Já o cerradão amostrado no PNSC foi a UC com a menor riqueza amostrada. Mais uma vez deve ser destacado que no PNSC foi adotado critério de inclusão para fisionomias florestais, o que representou uma amostragem apenas de indivíduos com maiores dimensões, o que certamente influenciou nos valores de riqueza obtidos. Por outro lado, o PNSC apresentou valores de diversidade de espécies superiores às aquelas registradas na EESGT e PNCV, provavelmente em virtude do maior equilíbrio ou uniformidade na abundância das espécies encontradas naquela UC.

É importante notar que, para a maioria das UCs, a riqueza em espécies observada ficou distante da estimativa máxima de riqueza projetada na análise de rarefação. Dessa forma, seria necessário ampliar o esforço amostral, principalmente no PNSC, a fim de melhorar a representação da flora local, considerando a elevada riqueza em espécies lenhosas que podem ser encontradas nas fisionomias savânicas e florestais do Cerrado. De modo geral, a baixa similaridade florística entre áreas reforça a necessidade de uma rede de UCs com ampla representatividade geográfica, que contemple as variações locais da flora do bioma, a fim de maximizar a conservação da diversidade de espécies em suas diferentes províncias biogeográficas, ecorregiões ou fitofisionomias componentes.

Dinâmica da vegetação

Apesar das especificidades regionais, ambientais e florísticas, as comunidades amostradas apresentaram dinâmica similar. De modo geral, observou-se equilíbrio entre as taxas de mortalidade e recrutamento (EESGT, PNCV e PNSC), ou balanço favorável ao recrutamento (PNB e PNSB). A escala de variação das taxas anuais médias de mortalidade (0,8 – 3,2%) e recrutamento (1,0 – 4,5%) estão dentro dos valores registrados em outros trabalhos de monitoramento de fisionomias savânicas (p.ex. [13][57][58][59]) e florestais (p.ex. [13][60][61][62]) realizados no Cerrado.

As maiores taxas de mortalidade e recrutamento foram verificadas no PNB, sendo esta UC a que apresentou dinâmica mais acelerada, dentre as cinco amostradas. No primeiro intervalo (2014 - 2018) a dinâmica no PNB foi mais intensa, com taxas de mortalidade e de recrutamento elevadas, sendo a taxa de recrutamento relativamente superior à de mortalidade. No segundo intervalo (2018 - 2023), houve diminuição na velocidade das mudanças, com menores valores de recrutamento e mortalidade em relação ao primeiro intervalo. Porém, o recrutamento ainda foi superior à mortalidade, sugerindo pequena tendência de aumento da densidade arbórea naquela comunidade de cerrado, o qual pode ser tratado como cerrado denso. O PNSB também apresentou dinâmica acelerada nos dois períodos medidos, com taxas de recrutamento superando as de mortalidade, o que também sugere uma tendência de adensamento florestal.

A outra fisionomia florestal amostrada, o cerradão no PNSC, apresentou dinâmica menos acelerada, com as taxas de recrutamento e mortalidade mais baixas dentre todas UCs. Este resultado é condizente com comunidades onde predominam indivíduos de maior porte, as quais tendem a apresentar dinâmica mais equilibrada, com menores taxas de recrutamento e mortalidade [13][63]. Por outro lado, comunidades com predominância de indivíduos menores tendem a ter uma dinâmica mais acelerada. É importante ressaltar que os diferentes critérios mínimos de inclusão de indivíduos adotados (protocolos savânico e florestal) variaram dentre as UCs amostradas, de modo que comparações sobre as taxas de dinâmica devem ser feitas com restrições.

As variações na abundância das principais espécies em cada UC apresentaram dinâmica complexa, com padrões distintos (estabilidade, redução ou incremento) dependendo da espécie. Ressalta-se o elevado recrutamento de *Tachigali subvelutina*, presente entre as principais espécies na EESGT e no PNCV, e que também ocorre no PNB. O comportamento observado é típico desta espécie, a qual apresenta taxas de recrutamento e crescimento bastante elevadas, porém baixa longevidade dos indivíduos, conforme registrado na literatura (p.ex. [58]). A elevada dominância das espécies *Miconia albicans* e *Callisthene mollissima* registradas no PNB e no PNCV, respectivamente, com abundâncias muito superiores às demais espécies amostradas nestas UCs é notável. A dominância destas espécies pode estar relacionada a ciclos naturais de dinâmica

populacional, quando a reprodução, recrutamento e sobrevivência de indivíduos de determinadas espécies são beneficiados por condições ambientais favoráveis (p.ex. [64]).

Biomassa

De modo geral, os valores de biomassa registrados nas UCs, os quais variaram dependendo da fitofisionomia amostrada, são condizentes com estimativas disponíveis da literatura para cerrado s.s., cerrado e mata seca [48][65][66][67]. Destaca-se que a vegetação do PNSB possui estrutura distinta em relação às demais UCs, tratando-se de uma formação florestal de mata seca, onde há claramente maior estoque de biomassa do que nas savanas e no cerrado amostrados em outras UCs. As florestas estacionais têm sofrido prejuízos estruturais pela diminuição de indivíduos e perda de biomassa em algumas regiões do Brasil, os quais foram atribuídos, entre outros, à mortalidade de indivíduos por estresse hídrico frente às mudanças climáticas [63][68]. Entretanto, o cenário verificado para o PNSB foi o oposto, com aumento no número de indivíduos arbóreos e da biomassa. Nesse sentido, devido ao comportamento dinâmico da vegetação no PNSB em nove anos, aparentemente a assembleia está continuando sua trajetória de acúmulo de biomassa, atuando como sumidouro de carbono, inclusive com indícios de ainda não ter atingido sua capacidade suporte para biomassa.

Já o PNSC apresentou tendência à manutenção da biomassa, o que possivelmente está relacionado ao ritmo mais lento de crescimento das espécies que compõem esta assembleia de cerrado. As demais UCs apresentaram estoques de biomassa inferiores ao encontrado no PNSB, variando do cerrado mais ralo encontrado na EESGT (13,40 Mg/ha) ao cerrado denso do PNB (29,89 Mg/ha). PNB e PNCV apresentaram um discreto incremento em biomassa durante o monitoramento, indicando que esses locais podem estar atuando como sumidouros de carbono.

Além da influência de distúrbios como o fogo (discutido na próxima seção), as variações em biomassa observadas podem estar sendo afetadas pelo aumento das concentrações de gás carbônico atmosférico, um fenômeno que, dentro de um limite de disponibilidade hídrica, tem sido apontado como possível catalisador de crescimento e adensamento lenhoso [69][70]. Nesse contexto de monitoramento de vegetação, é importante realizar

futuras investigações frente às mudanças climáticas, avaliando o papel das fisionomias do Cerrado como potenciais fontes ou sumidouros de carbono, considerando as interações entre o aumento na concentração do carbono atmosférico e variações na disponibilidade hídrica.

É importante destacar que a aplicação do protocolo avançado para plantas lenhosas, que incluiu a identificação taxonômica dos indivíduos amostrados, permitiu um refinamento nas estimativas de biomassa com base em valores mais específicos para a densidade da madeira associada a cada espécie (ou gênero em alguns casos). Isso se aplica às fisionomias para as quais se utilizou fórmulas de estimativas de biomassa que consideram a densidade da madeira por espécie, como foi o caso da mata seca no PNSB e do cerrado no PNSC.

O efeito do fogo na composição, estrutura, biomassa e dinâmica da vegetação

O fogo possui grande importância na ecologia do Cerrado, sendo reconhecido como agente modelador da paisagem, onde pode atuar como filtro ambiental, modelando a paisagem na dependência da frequência de incidência, da intensidade e do intervalo entre queimadas, eliminando espécies mais típicas de ambientes florestais que possuem poucas ou nenhuma adaptação a este fator [23]. O fogo perturba principalmente indivíduos de menor porte (plântulas e juvenis), os quais ainda não se desenvolveram suficientemente para terem suas estratégias de proteção e resistência totalmente consolidadas [20][64]. Formações savânicas submetidas a queimadas frequentes (anuais e bianuais) apresentam diminuição na cobertura e na composição em espécies lenhosas, diminuindo a velocidade de regeneração do estrato arbóreo [21][71][72]. Por outro lado, a exclusão do fogo em fisionomias savânicas e campestres leva a um adensamento do componente arbóreo, o que implica em prejuízos a riqueza do estrato arbustivo-herbáceo em virtude do sombreamento [22][25][26][73][74].

Diferenças nos regimes de fogo registrados nos sítios amostrados neste estudo podem indicar, ainda que de forma preliminar, potenciais efeitos do regime de fogo nas fisionomias savânicas amostradas. Por exemplo, o PNB apresentou um constante aumento do número de indivíduos, com taxas de recrutamento arbóreo maiores do que as taxas de mortalidade, tendência de aumento de biomassa,

em que detectamos, inclusive, o recrutamento de espécies típicas de ambientes florestais; no caso, de matas de galeria. Esse panorama pode estar associado a um longo período de exclusão de fogo, considerando que o local onde a unidade amostral foi alocada queimou pela última vez há 39 anos, em 1985. A exclusão do fogo permite que a vegetação lenhosa mantenha sem impedimentos seu curso de crescimento (aumento da biomassa), possibilitando a ocupação por espécies menos tolerantes ao fogo e a manutenção do potencial regenerativo da vegetação florestal [20][23][26], permitindo o avanço da floresta sobre a savana [74]. Bons indícios deste cenário foram detectados pelo monitoramento na área do PNB, onde espécies de matas de galeria ocupam a UA. Se, por um lado, o incremento em biomassa associado ao adensamento lenhoso pode contribuir como sumidouro de carbono, por outro este processo promove a diminuição na densidade e a exclusão de espécies arbustivo-herbáceas autóctones, as quais apresentam alto valor para conservação, necessitando atenção no monitoramento e no manejo [23][73][75]. Outra questão relevante é que a exclusão do fogo em savanas por longos períodos resulta no acúmulo de combustível, elevando a possibilidade de incêndios de alta intensidade e de difícil controle [19][25][76][77].

Por outro lado, as outras duas UCs onde foram amostradas formações savânicas (EESGT e PNCV) apresentaram diversos registros de queimadas no período analisado. Porém, a estabilidade no número de indivíduos observados, com ganhos de recrutamento compensando a mortalidade, na riqueza de espécies, e na biomassa estimada, sugerem resiliência da vegetação ao regime de fogo. De fato, a recuperação da biomassa vegetal em áreas de savana após eventos de fogo, dependendo da frequência, tende a ser relativamente rápida, considerando a resiliência e a velocidade de crescimento dos diferentes estratos da vegetação [21][73].

Ressalta-se que o manejo do fogo em UCs do Cerrado tem recebido crescente atenção nos últimos anos (p.ex. [19][24][76][77], considerando a elevada inflamabilidade das fisionomias savânicas e campestres do bioma e seu efeito na biodiversidade. Portanto, o monitoramento de espécies lenhosas, em fisionomias savânicas e campestres sujeitas a eventos de fogo, constitui uma ferramenta de fundamental importância para subsidiar estratégias de gestão e manejo integrado do fogo em UCs.

Potencial de plantas lenhosas para monitoramento da biodiversidade em UCs do Cerrado e recomendações

Plantas lenhosas constituem um elemento chave em diversos ecossistemas, o que inclui as savanas e florestas do bioma Cerrado, compreendendo considerável riqueza em espécies, estratificação e grande parte da sua biomassa. O monitoramento de plantas lenhosas possui custo-benefício muito positivo para monitorar biodiversidade, considerando que com pequeno esforço amostral (quatro pessoas trabalhando por três a cinco dias a cada ciclo de medição) podem ser obtidos dados de centenas de indivíduos monitorados, pertencentes a dezenas de espécies. A partir do monitoramento das plantas lenhosas nas UCs são geradas informações sobre composição em espécies, dinâmica da vegetação, estoque e acúmulo de biomassa/carbono. Além disso, o monitoramento permite avaliar o efeito de eventos de fogo, ou de sua supressão, na composição em espécies e na estrutura da vegetação, bem como avaliar o impacto de invasões biológicas ou outros distúrbios nessas UCs.

Os resultados apresentados neste trabalho ressaltam o grande potencial dos dados de monitoramento gerados durante ciclos de medições (aqui variando entre quatro e nove anos), e com a aplicação do protocolo avançado do Programa Monitora (que preconiza a identificação taxonômica) para o manejo das UCs. A variabilidade de padrões referentes à composição em espécies, estrutura e dinâmica das vegetações, obtidos nas cinco UCs investigadas, ressalta a grande heterogeneidade encontrada nos ecossistemas do Cerrado. Com a experiência acumulada nesses períodos de até nove anos de monitoramento, as seguintes recomendações sobre o monitoramento de plantas lenhosas nessas UCs podem ser indicadas:

- ampliar a rede de monitoramento, incluindo maior número de unidades amostrais em UCs já contempladas, atingindo diferentes fisionomias, além de expandir o programa para outras UCs;
- integrar dados do Programa Monitora com redes nacionais e internacionais de monitoramento de vegetação, a fim de contribuir para um melhor entendimento dos padrões globais de composição e dinâmica da vegetação, principalmente em savanas;
- investir no treinamento de agentes locais para conduzir os monitoramentos conforme os

procedimentos estabelecidos no protocolo, considerando que o intervalo entre medições (quatro a cinco anos) pode dificultar a internalização destes procedimentos pelas equipes locais; e

- contar com parceria de grupo de especialistas, não só para a implementação do protocolo avançado, mas também para acompanhar o trabalho das equipes locais, e realizar análises aprofundadas dos dados.

Conclusão

Os resultados apresentados evidenciam as vantagens de se aplicar o protocolo avançado para plantas lenhosas do Programa Monitora no monitoramento de UCs no Cerrado. A identificação botânica das plantas monitoradas nas unidades amostrais trouxe considerável avanço tanto no conhecimento sobre a composição em espécies de cada uma dessas UCs, quanto sobre a dinâmica e as estimativas de biomassa de suas vegetações. Os resultados reforçam a baixa similaridade da flora lenhosa entre as UCs amostradas, variação já destacada por estudos fitossociológicos pelo bioma, o que reforça a importância de um planejamento regionalizado para adequada conservação da flora do Cerrado. Considerando que foi observado equilíbrio entre taxas de mortalidade e recrutamento, ou balanço favorável ao recrutamento, e que também foi verificada manutenção ou incremento no estoque da biomassa aérea durante o período monitorado, a qualidade ambiental de cada UC pôde ser reconhecida. UCs com mais eventos de fogo apresentaram incrementos menores no número de indivíduos e na biomassa, porém sem perdas florísticas. A continuidade desse monitoramento é vital para que se possa acompanhar a dinâmica dessas vegetações a longo prazo, avaliando os impactos de distúrbios na flora lenhosa e, com isso, aprimorando o necessário manejo dessas UCs do Cerrado.

Agradecimentos

Agradecemos aos técnicos da Embrapa Cenargen Aécio Amaral Santos, Ismael da Silva Gomes, Juarez Pereira do Amaral e Valdeci Ferreira Gomes (Dudu) pelo auxílio nas campanhas de campo. Sérgio E. Noronha pela produção dos mapas e à equipe do herbário CEN pelo apoio no depósito das amostras botânicas coletadas (autorização SISBIO

61941-1). Agradecemos o apoio logístico dos gestores do ICMBio das cinco UCs amostradas, bem como aos brigadistas, Fernando Alves de Souza, Reginaldo Oliveira Aguiar, Walter Barbosa Silva, Luiz Henrique Dornel Gil, Gustavo Cardoso e Amperisom Escobar Coene, os quais participaram das amostragens de campo. Por fim, agradecemos o apoio financeiro e logístico do ICMBio, Embrapa, PNUD e CNPq (Proc. 305570/2021-8).

Referências

1. Ribeiro JF, Walter BMT. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Em: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF, organizadores. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa; 2008. p. 152-212.
2. Françoso RD, Haidar RF, Machado RB. Tree species of South America central savanna: endemism, marginal areas and the relation with other biomes. *Acta Bot Bras*. 2016; 30(1): 78-86.
3. Sano EE, Rodrigues AA, Martins ES et al. Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *J Env Manage*. 2019; 232: 818-828.
4. Oliveira-Filho AT, Ratter JA. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. Em: Oliveira PS, Marquis RJ, organizadores. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press; 2002. p. 91-120.
5. Bueno ML, Dexter KG, Pennington RT, Pontara V, Neves DM, Ratter JA et al. The environmental triangle of the Cerrado domain: ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas. *J Ecol*. 2018; 106(5): 2109-2120.
6. Oliveira-Filho AT, Ratter JA. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinb Journ Bot*. 1995; 52(2): 141-194.
7. Miranda PLS, Oliveira-Filho AT, Pennington RT, Neves DM, Baker TR, Dexter KG. Using tree species inventories to map biomes and assess their climatic overlaps in lowland tropical South America. *Glob Ecol Biogeogr*. 2018; 27(8): 899-912.
8. Castro AAJF, Martins FR. Cerrados do Brasil e do Nordeste: caracterização, área de ocupação e considerações sobre a sua fitodiversidade. *Pesquisa em Foco São Luís*. 1999; 7(9): 147-178.

9. Nunes da Cunha C, Junk WJ. A preliminary classification of habitats of the Pantanal of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, and its relation to national and international wetland classification systems. Em: *The Pantanal: ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland*. Junk WJ, Silva CJ, Nunes da Cunha C, Wantzen KM; 2010. p. 127-141.
10. Ratter JA, Bridgewater S, Ribeiro JF. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinb Journ Bot*. 2003; 60: 57-109.
11. Felfili JM, Silva Júnior MC, Sevilha AC, Fagg CW, Walter BMT, Nogueira PE et al. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecol*. 2004; 175(1): 37-46.
12. Scariot AO, Sevilha AC. Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado. Em: Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (orgs.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília: MMA; 2005.
13. Silva LS, Otoni TJO, Vieira AD. Variações temporais na estrutura em fitofisionomias de Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo/MG. *Ciênc Florest*. 2020; 30(3): 730-742.
14. Françoso RD, Dexter KG, Machado RB et al. Delimiting floristic biogeographic districts in the Cerrado and assessing their conservation status. *Biodivers Conserv*. 2020; 29(5): 1477-1500.
15. Amaral AG, Munhoz CB, Walter BMT, Aguirre-Gutiérrez J, Raes N. Richness pattern and phytogeography of the Cerrado herb-shrub flora and implications for conservation. *J Veg Sci*. 2017; 28(4): 848-858.
16. Castilho-Silva AW, Pontara V, Bueno ML, Villa PM, Walter BMT, Meira-Neto JAA. The bulk of a plant hotspot: composition, species richness and conservation status of the Cerrado herbaceous-subshrub flora. *Folia Geobot*. 2024; 57: 1-11.
17. Durigan G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. *Flora*. 2020; 268: 151612.
18. Miranda HS, Sato MN, Nascimento-Neto R, Aires FS. Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna. Em: *Cochrane MA (org.). Tropical fire ecology: climate change, land use, and ecosystem dynamics*. Chichester: Springer; 2009. p. 427-450.
19. Berlinck CN, Batista EK. Good fire, bad fire: It depends on who burns. *Flora*. 2020; 268: 151610.
20. Case TJ, Stever DM. Fire prevents woody encroachment only at higher-than-historical frequencies in a South African savanna. *Ecology*. 2016; 97(5): 1373-1383.
21. Gomes L, Miranda HS, Soares-Filho B, Rodrigues L, Oliveira U, Bustamante MMC. Responses of plant biomass in the Brazilian savanna to frequent fires. *Front For Glob Change*. 2020; 3(38): 507710.
22. Carvalho JC, Ribeiro JF, Oliveira-Filho AT. Estimativa do risco de incêndios florestais com base em fitofisionomias e fatores climáticos. *Rev Árvore*. 2016; 40(2): 267-276.
23. Durigan G, Ratter JA. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *J Appl Ecol*. 2016; 53(8): 2044-2053.
24. Schmidt IB, Fonseca CB, Ferreira MC, Sato MN. Experiências internacionais de manejo integrado do fogo em áreas protegidas – recomendações para implementação de manejo integrado de fogo no Cerrado. *Biodiversidade Bras*. 2016; 6: 41-54.
25. Pivello VR, Vieira I, Christianini AV, Ribeiro DB, Menezes LS, Berlinck CN et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspect Ecol Conserv*. 2021; 19: 233-235.
26. Flake SW, Honda EA, Pilon NA, Hoffmann WA, Durigan G. Not all trees can make a forest: tree species composition and competition control forest encroachment in a tropical savanna. *J Ecol*. 2022; 110(2): 301-312.
27. ICMBio. Monitoramento da biodiversidade: roteiro metodológico de aplicação. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; 2014. 40 p.
28. Felfili JM, Carvalho FA, Haidar RF. Manual para monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal. Brasília: Editora da UnB; 2005.
29. Swaine MD, Lieberman D, Putz FE. The dynamics of tree population in Tropical Forest: a review. *J Trop Ecol*. 1987; 3: 359-366.
30. Nobre RA, Kinouchi MR, Constantino PAL, Costa-Pereira R, Uehara-Prado M. Monitoramento da biodiversidade – roteiro metodológico de aplicação. Brasília: ICMBio; 2014. 40 p.
31. Oliveira LC, Didier K. O que precisamos saber para o sucesso de um bom monitoramento? Dicas baseadas nos padrões abertos de conservação. *Biodiversidade Bras*. 2015; 6(2): 147-160.
32. PNMB (Programa Nacional de Monitoramento da Biodiversidade. Programa Monitora, Suprograma Terrestre, Componente Florestal, relatório 2014-2018. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; 2021.
33. Oliveira U, Soares-Filho BS, Paglia AP et al. Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. *Sci Rep*. 2017; 7(1): 1-9.

34. MapBiomas P. Collection 8 of the Annual Land Cover and Land Use Maps of Brazil [Internet]. 2023 [citado 15 de dezembro de 2023]. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomas/VJIJCL>,
35. Koppen WG, Geiger RM. Handbuch der klimatologie. Bull Am Geogr Soc. 1936; 43(12): 935.
36. Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC (orgs.). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3º ed. Brasília, Brazil: Embrapa; 2013.
37. Kiataqui FK, Noronha SE, Simon MF. Contribution of the Brazilian National Forest Inventory to the knowledge of Cerrado woody flora. Biota Neotropica. 2022; 22(e20211306).
38. Gotelli NJ, Colwell RK. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecol Lett. 2001; 4: 379-391.
39. Hsieh TC, Ma KH, Chao A. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers. Methods Ecol Evol. 2016; 7: 1451-1456.
40. Chao A. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. Ecol Monogr. 2014; 84: 45-67.
41. R DCT. R: A language and environment for statistical computing. Vol. 3. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2019.
42. Chen H. VennDiagram: Generate High-Resolution Venn and Euler Plots [Internet]. 2018. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=VennDiagram>
43. Legendre P, Legendre L. Numerical ecology. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier; 2012.
44. Oksanen J. Vegan: ecological diversity [Internet]. 2019. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
45. Borcard D, Gillet F, Legendre P. Numerical Ecology with R. New York: Springer; 2011.
46. Sheil D, May RM. Mortality and recruitment rate evaluations in heterogeneous tropical forests. J Ecol. 1996; 84: 91-100.
47. Mueller-Dombois D, Ellemberg H. Aims and methods of vegetation ecology. Ed), organizador. New York: John Wiley; 1974. 574 p.
48. Rezende AV, Vale A, Sanquetta CR, Figueiredo-Filho A, Felfili JM. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília/DF. Sci For. 2006; 71: 65-76.
49. Martins MS, Miguel EP, Pinto JRR, Meira Junior MS, Souza FC, Souza HJ. Above-ground biomass accumulation in Cerradão managed by the mass ratio. N Z J For Sci. 2023; 53: 8.
50. Chave J et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Glob Change Biol. 2014; 20: 3177-3190.
51. Oliveira GMV. Densidade da madeira em Minas Gerais: amostragem, espacialização e relação com variáveis ambientais [Dissertação de Mestrado.]. [Lavras/MG]: Universidade Federal de Lavras, Dept. Engenharia Florestal; 2014.
52. Vale AT, Brasil MAM, Leão AL. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado. Ciênc Florest. 2002; 12: 71-80.
53. Souza YFD. Equações alométricas para estimativa de volume e biomassa em diferentes fitofisionomias do Cerrado [Mestrado em Ciência Florestais]. [Brasília/DF]: Universidade de Brasília, Dep. de Eng. Florestal; 2020.
54. Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE. Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecol Lett. 2009; 12(4): 351-366.
55. Baptista-Maria VR, Rodrigues RR, Damasceno-Junior G, Souza-Maria F, Souza VC. Composição florística de florestas estacionais ribeirinhas no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Acta Bot Bras. 2009; 23(2): 535-548.
56. Silva-Júnior MC, Felfili JM, Walter BMT. Análise da flora arbórea de matas de galeria do Distrito Federal: 21 levantamentos. Em: Ribeiro JF, Fonseca CEL, Sousa-Silva JC (orgs.). Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria. Planaltina: Embrapa Cerrados; 2001. p. 141-191.
57. Aquino FDG, Walter BMT, Ribeiro JF. Dinâmica de populações de espécies lenhosas de Cerrado, Balsas, Maranhão. Rev Árvore. 2007; 31(5): 793-803.
58. Roitman I, Felfili JM, Rezende AV. Tree dynamics of a fire-protected cerrado *sensu stricto* surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991 - 2004) in Bahia, Brazil. Plant Ecol. 2008; 197(2): 255-267.
59. Silva-Neto AJ, Mello JM, Fontes MAL, Santos RM, Batista APB, Scolforo JRS. Dinâmica da comunidade arbórea em um fragmento de cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais, Brasil. Sci For. 2017; 45(113): 21-29. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.02](https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.02)
60. Oliveira AP, Felfili JM. Dinâmica da comunidade arbórea de uma mata de galeria do Brasil Central em um período de 19 anos (1985-2004). Rev Bras Botânica. 2008; 31(4): 597-610.
61. Silva MR, Araújo GM. Dinâmica da comunidade arbórea de uma floresta semidecidual em Uberlândia, MG, Brasil. Acta Bot Bras. 2009; 23(1): 49-56.

62. Marimon BS, Marimon-Junior BH, Feldspausch TR et al. Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest-cerrado transition zone in southern Amazonia. *Plant Ecol Divers*. 2014; 7(1-2): 281-292.
63. Mews HA, Marimon BS, Pinto JRR, Silvério DV. Dinâmica estrutural da comunidade lenhosa em floresta estacional semidecidual na transição Cerrado-Floresta Amazônica, Mato Grosso, Brasil. *Acta Bot Bras*. 2011; 25(4): 845-857.
64. Hoffmann WA. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology*. 1999; 80(4): 1354-1369.
65. Morais VA, Scolforo JRS, Silva CA, Mello JM, Gomide LR, Oliveira AD. Biomass stocks in a fragment of Cerradão in Minas Gerais state, Brazil. *Cerne*. 2013; 19(2): 237-245.
66. Miguel EP, Rezende AV, Leal FA et al. Floristic, structural, and allometric equations to estimate arboreal volume and biomass in a cerradão site. *Semin Agrar*. 2017; 38(4): 1691-1702.
67. Roquette JG. Distribuição da biomassa no Cerrado e a sua importância na armazenagem do Carbono. *Ciênc Floresta St Maria*. 2018; 28(3): 1350-1363.
68. Maia VA, Santos ABM, De Aguiar-Campos N, De Souza CR, De Oliveira MCF, Coelho PA et al. The carbon sink of tropical seasonal forests in southeastern Brazil can be under threat. *Sci Adv*. 18 de dezembro de 2020; 6(51): eabd4548.
69. Devine AP, McDonald RA, Quaife T et al. Determinants of woody encroachment and cover in African savannas. *Oecologia*. 2017; 183: 939-951.
70. Archer SR, Andersen EM, Predick KI, Schwinning S, Steidl RJ, Woods SR. Woody plant encroachment: causes and consequences. Em: Briske DD (org.). *Rangeland Systems Processes, Management and Challenges*. Springer International Publishing; 2017. p. 25-84.
71. Miranda HS, Neto WN, Neves BMC. Caracterização das queimadas de Cerrado. Em: Miranda HS (org.). *Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo IBAMA*. 2010. p. 23-73.
72. Neri SCM, Bomfim B, Pereira RS, Santos PV, Tetto AF. Decadal fire effects on the structure, composition, diversity, and aboveground carbon stocks of a Neotropical savanna. *Forests*. 2023; 14(12): 2294.
73. Chiminazzo MA, Bombo AB, Charles-Dominique T, Fidelis A. To protect or to hide: why not both? An investigation of fire-related strategies in Cerrado woody species. *Flora*. 2023; 306: 152350.
74. Geiger EL, Gotsch SG, Damasco G, Haridasan M, Franco AC, Hoffman WA. Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration under fire suppression in a Brazilian savanna. *J Veg Sci*. 2011; 22: 312-321.
75. Bombo AB, Appezzato-da-Glória B, Fidelis A. Fire exclusion changes belowground bud bank and bud-bearing organ composition jeopardizing open savanna resilience. *Oecologia*. 2022; 199(1): 153-164.
76. Barradas ACS, Borges MA, Costa MM, Ribeiro KT. Paradigmas da gestão do fogo em áreas protegidas no mundo e o caso da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. *Biodiversidade Bras*. 2020; 10(2): 71-86.
77. Fidelis A. Is fire always the “bad guy”? *Flora*. 2020; 268: 151611.

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.

Fluxo Contínuo e Edições Temáticas:

- Sustentabilidade da Araucária
- Programa Nacional de Monitoramento da Biodiversidade – Programa Monitora n.2, 2025

<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886

