

ALOIRTA WALDETE DE CASTILHO SILVA

**PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO, RIQUEZA E DIVERSIDADE EVOLUTIVA DE
ESPÉCIES DA FLORA HERBÁCEO-SUBARBUSTIVA DO CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Botânica, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

Orientador: João Augusto Alves Meira Neto

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586p
2020

Silva, Aloirta Waldete de Castilho, 1973-

Padrão de distribuição, riqueza e diversidade evolutiva de
espécies da flora herbáceo-subarbusciva do Cerrado / Aloirta
Waldete de Castilho Silva. – Viçosa, MG, 2020.

97 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: João Augusto Alves Meira Neto.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Distribuição espacial. 2. Análise de variância.
3. Filogenética. 4. Diversidade de plantas - Conservação.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia
Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Botânica. II. Título.

CDD 22 ed. 582.1748

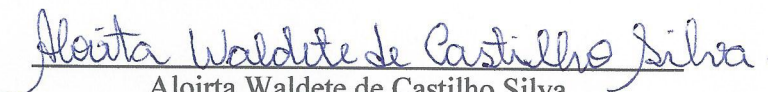
ALOIRTA WALDETE DE CASTILHO SILVA

**PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO, RIQUEZA E DIVERSIDADE EVOLUTIVA DE
ESPÉCIES DA FLORA HERBÁCEO-SUBARBUSTIVA DO CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 30 de julho de 2020.

Assentimento:


Aloirta Waldete de Castilho Silva
Autora


João Augusto Alves Meira Neto
Orientador

*Dedico esse trabalho à minha família,
a melhor parte de mim.*

AGRADECIMENTOS

“A gratidão é a memória do coração”

Se hoje estou a escrever esses agradecimentos é porque Deus esteve sempre presente. Nos momentos de desânimo me concedeu esperança e nos de fraqueza a força necessária para mais um passo a diante até chegar aqui. Então, à Ele minha gratidão sem fim!

A minha família por ser “a minha grande família”, amo vocês!

Ao meu filho, Icaro, meu maior e contínuo incentivo para evoluir na vida!

Ao meu esposo, Mário, pelo apoio, especialmente, durante nosso isolamento e essa fase final.

À CAPES, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal de Viçosa, um duplo agradecimento: como servidora pela oportunidade de qualificação e como estudante a de formação acadêmica de excelência. Tenho orgulho de fazer parte dessa instituição!

Aos amigos do DEQ, especialmente a Shirley por ouvir, acolher e sempre ajudar, a Viviane por me ceder seu notebook pelo tempo necessário e ao Abelardo, mais que um parceiro de trabalho, um amigo para vida toda! Tudo deu certo afinal. Obrigada!

Ao departamento de Biologia Vegetal, pela oportunidade de aprendizado, crescimento e formação junto ao Programa de Pós-Graduação em Botânica. Aos professores com quem tive o prazer de receber e compartilhar conhecimento. Ao Ângelo, secretário do programa, pela dedicação, solicitude e paciência não só comigo, mas com todos os alunos. Muito obrigada!

Ao prof. João Meira Neto, pela confiança depositada e por todas às vezes que me ajudou a acreditar que eu seria capaz de cumprir esse desafio. Minha gratidão!

Ao Marcelo Bueno e a Vanessa Pontara, meu imenso muito obrigada! Ainda me pergunto: Onde estão escondidas as asas?

Aos amigos do LEEP e do programa, durante os últimos sete anos muitos chegaram e tantos outros seguiram novos caminhos deixando saudades e boas lembranças. A todos agradeço a ajuda em cada etapa, os momentos juntos, por me ensinarem coisas básicas e outras nem tanto assim. Foi muito prazeroso aprender com pessoas tão jovens, com tantas experiências diferentes, muitas ideias e de uma generosa disposição em compartilhar a vida e o aprendizado. Ao Celso, pela gentileza e prontidão de sempre. Minha gratidão a quem me deu a mão e me ajudou a evoluir como profissional e pessoa.

Aos irmãos de coração, Ronaldo e Prímula, presentes que a vida me deu! Ao Ronaldo por cada conversa, palavra, gesto de carinho e atenção ofertado a mim, gratidão! A Prímula, por termos dividido esse caminho desde o início, pela força em cada momento, pela companhia em cada final de semana, feriados e noites na UFV, pela amizade construída e histórias acumuladas para contar, enfim chegamos amiga e o sentimento é de gratidão sem fim!

“Por mais elegante e resumida que seja, a brevidade nunca pode, pela natureza dos fatos, ter em conta todos os casos de uma situação complexa.
Porém a vida é curta e o conhecimento ilimitado: ninguém dispõe de tempo para tudo.
Sintetizar é um mal necessário e a tarefa daquele que sintetiza é fazer da melhor maneira possível um trabalho que, embora essencialmente ruim, ainda seja melhor que nada.”

Aldous Huxley

“
*Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu
É sobre ser abrigo e também ter morada em outros corações
E assim ter amigos contigo em todas as situações
A gente não pode ter tudo
Qual seria a graça do mundo se fosse assim?
Por isso, eu prefiro sorrisos
E os presentes que a vida trouxe pra perto de mim
Não é sobre tudo que o seu dinheiro é capaz de comprar
E sim sobre cada momento sorriso a se compartilhar
Também não é sobre correr contra o tempo pra ter sempre mais
Porque quando menos se espera a vida já ficou pra trás
Laiá, laiá, laiá, laiá, laiá (... ..)
Segura teu filho no colo
Sorria e abrace teus pais enquanto estão aqui
Que a vida é trem-bala, parceiro
E a gente é só passageiro prestes a partir”*

Ana Carolina Vilela Da Costa (Trem – Bala)

RESUMO

CASTILHO-SILVA, Aloirta Waldete de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2020. **Padrão de distribuição, riqueza e diversidade evolutiva de espécies da flora herbáceo-subarbusiva do cerrado.** Orientador: João Augusto Alves Meira Neto.

No Cerrado, os estudos para entender os padrões de distribuição, composição, riqueza e diversidade concentram-se na flora lenhosa. A flora herbáceo-subarbusiva é pouco estudada apesar de sua maior riqueza, importância na composição da paisagem e os aspectos ecológicos que a envolvem. Há muitas lacunas no conhecimento sobre essa flora a serem preenchidas. Uma abordagem que considera a influência da estrutura espacial na composição de espécies e das variáveis ambientais na distribuição das comunidades vegetais e, complementarmente, análises baseadas em filogenias pode ajudar a esclarecer o papel relativo dos eventos ecológicos e evolutivos experimentados pelas espécies na montagem das comunidades. Além disso, a seleção de áreas prioritárias apoiada na diversidade filogenética tem se mostrado mais representativa e promissora para a conservação. Para investigar o padrão de distribuição, riqueza e diversidade evolutiva das espécies da flora herbáceo-subarbusiva do Cerrado foi compilado um banco de dados com 4.714 espécies herbáceo-subarbusivas georreferenciadas. Com dados de presença/ausência das espécies combinados com as 39 variáveis geoclimáticas detectamos a influência das variáveis espaciais e ambientais na distribuição dessa flora. A análise de partição de variância revelou a contribuição relativa da fração ambiental (1%), da ambiental espacialmente estruturada (2%), da fração espacial pura (14%) além da fração não explicável (83%) na composição das espécies. O padrão de distribuição observado, possivelmente, se deve a complexidade e heterogeneidade que envolve a distribuição das espécies herbáceo-subarbusivas influenciadas pelas variáveis climáticas marcantes do Cerrado (estacionalidade e temperatura) e do ciclo de carbono orgânico do solo. Além disso, as espécies dessa flora são bem adaptadas e com diferentes estratégias para superar as condições impostas pelo período seco e as altas temperaturas. Como esperado a riqueza ficou concentrada em áreas de fitofisionomias mais abertas. Para identificar os *hotspots* de diversidade para a conservação dessa flora foram calculados cinco métricas de diversidade: Riqueza em espécies (SR); diversidade filogenética (PD); tamanho do efeito padronizado da PD (ses.PD); distinção evolutiva (ED) e a distinção evolutiva ponderada biogeograficamente (BED). A distribuição

espacial das métricas de diversidade revelou as áreas com alto nível de diversidade, os grids *hotspots*, e apontaram áreas prioritárias para a conservação. Os padrões de SR, PD e BED foram similares, enquanto, o ses.PD e o ED tiveram padrões dispersos e diferentes entre si. A maior concentração de grids *hotspots* ocorreu nas áreas centrais do bioma, onde predomina o cerrado *stricto sensu* e alguns outros pelas áreas marginais em contato com outros biomas. A quantidade de espécies sem registros em UCPIs, e os percentuais de espécies ameaçadas e não avaliadas foram maiores do que com registros em UCPIs. Os resultados obtidos indicam uma grande diversidade de linhagens, supostamente com uma gama de traços filogenéticos que permitiu as espécies dessa flora explorar, permanecer e propagar-se nos mais diversos ambientes. As áreas com sobreposição de grids *hotspots*, fora das UCPIs e em áreas de estabilidade climática merecem especial atenção para conservação de uma flora negligenciada e sob forte ameaça antrópica.

Palavras-chave: Padrão espacial. Partição de variância. *Hotspots* de diversidade. Unidades de conservação.

ABSTRACT

CASTILHO-SILVA, Aloirta Waldete de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2020. **Distribution, species richness and evolutionary diversity of herbaceous-subshrub plants of the Brazilian Cerrado.** Advisor: João Augusto Alves Meira Neto.

In the Cerrado, studies to understand the patterns of distribution, composition, richness and diversity focus on woody flora. The herbaceous-subshrub flora is poorly studied despite its greater richness, importance in the composition of the landscape and the ecological aspects that surround it and there are many gaps in knowledge to be filled. An approach that considers the influence of spatial structure on species composition and environmental variables in the distribution of plant communities and, in addition, analyzes based on phylogenies can help to clarify the relative role of ecological and evolutionary events experienced by species in the assembly of the community. The selection of priority areas based on phylogenetic diversity has been shown to be more representative and promising. To investigate the pattern of distribution, richness and evolutionary diversity of the species of the herbaceous-subshrubby flora of the Cerrado, a database was compiled with 4,714 georeferenced herbaceous-subshrub species. With data presence/absence of species combined with the 39 geoclimatic variables, we detected the influence of spatial and environmental variables on the distribution of this flora. The analysis of partition of variance revealed the relative contribution of the environmental fraction (1%), the spatially structured environmental (2%), the pure spatial fraction (14%) in addition to the unexplainable fraction (83%) in the species composition. The observed pattern of distribution is possibly due to the complexity and heterogeneity that involves the distribution of herbaceous-subshrub species influenced by the Cerrado's remarkable climatic variables (seasonality and temperature) and the soil's organic carbon cycle. In addition, the species this flora are well adapted and have different strategies to overcome the conditions imposed by the dry period and high temperatures. As expected, richness was concentrated in more open areas of phytophysiognomies. To identify the diversity hotspots for the conservation of this flora, five diversity metrics were calculated: Species Richness (SR); phylogenetic diversity (PD); standardized PD effect size (ses.PD); evolutionary distinction (ED) and biogeographically weighted evolutionary distinction (BED). The spatial distribution of the diversity metrics revealed the areas with a high level of diversity, the grid hotspots, and pointed out priority areas

for conservation. SR, PD and BED patterns were similar, while ses.PD and ED had dispersed and different patterns. The highest concentration of grid hotspots occurred in the central areas of the biome, where the cerrado stricto sensu predominates and some others by marginal areas in contact with other biomes. The number of species without records in UCPIs, and the percentages of threatened and unevaluated species were higher than with records in UCPIs. The results obtained indicate a great diversity of strains, supposedly with a range of phylogenetic traits that allowed species of this flora to explore, remain and propagate in the most diverse environments. The areas with overlapping grid hotspots, outside the UCPIs and in areas of climatic stability deserve special attention for the conservation of a neglected flora and under a strong anthropic threat.

Keywords: Spatial pattern. Variance partition. Diversity hotspots. Conservation units.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPÍTULO I: Influência das variáveis espaciais e ambientais na distribuição da flora do estrato herbáceo–subarbustivo do Cerrado.....	25
Resumo	26
1. Introdução	27
2. Material e Métodos	29
2.1. Área de Estudo.....	29
2.2. Banco de Dados	30
2.3. Análise de Partição de Variância	31
2.4. Status de Conservação	32
3. Resultados	32
3.1. Composição e Riqueza	32
3.2. Padrão dos Fatores Ambientais e Espaciais	34
3.3. Status de Conservação	35
4. Discussão	36
5. Conclusão	41
6. Referências Bibliográficas	42
CAPÍTULO II: Centros de diversidade para conservação da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado	57
Resumo	58
1. Introdução	59
2. Material e Métodos	62
2.1. Área de Estudo	62
2.2. Banco de Dados	63
2.3. Análise da Diversidade Evolutiva	64
2.4. Identificação de <i>Hotspots</i> de Biodiversidade	65
3. Resultados	66
3.1. Padrão Espacial das Métricas de Diversidade	67

3.2. <i>Hotspots</i> de Diversidade e Estado de Conservação	69
4. Discussão	71
5. Conclusão	76
6. Referências Bibliográficas	77
CONCLUSÃO GERAL	93
APÊNDICE (S)	94

INTRODUÇÃO GERAL

Os fatores ambientais são os principais determinantes na distribuição, composição em espécies e estrutura das comunidades vegetais (Karst et al. 2005; Jones et al. 2006, 2008; Baltzer et al. 2008; Baltzer e Davies 2012; Maçaneiro et al. 2016; Bueno et al. 2017b; Esquivel-Muelbert et al. 2017; de Oliveira Xavier et al. 2019). Em macroescala, o clima, tem demonstrado ser a principal variável influenciadora dos padrões de distribuição, riqueza e diversidade de espécies, enquanto que, em microescala, o solo e as interações ecológicas aparentam ser mais influentes sobre os padrões observados nas comunidades de plantas (Bell 2001; Crawley e Harral 2001; Tamme et al. 2010; Diniz-Filho et al. 2012; Sitzia et al. 2014; Neves et al. 2015; Bueno et al. 2018a). Analisar os padrões espaciais e entender as regras de montagem das comunidades pode ajudar a desvendar quais processos ecológicos estão envolvidos na sua formação ou na manutenção de sua estrutura, composição, diversidade e funcionamento (Bell et al. 1993; Marques et al. 2011). Logo, uma abordagem ecológica deve considerar a influência da estrutura espacial na composição em espécies e das variáveis ambientais na distribuição das comunidades vegetais (Durigan 2006; Dray et al. 2012; Eisenlohr et al. 2013; de Mélo et al. 2013; Lewis et al. 2014; Oliveira-Filho et al. 2014; Gasper et al. 2015; Rezende et al. 2018).

O Cerrado possui a maior e mais rica savana do mundo (Eiten 1972; Myers et al. 2000; Cardoso da Silva e Bates 2002), considerada a mais ameaçada (MMA 2019) e um hotspot mundial de biodiversidade (Myers et al. 2000; Cardoso da Silva e Bates 2002; Alho 2005). Dentre os biomas brasileiros é o que mais perdeu habitats, nos últimos anos, sendo que 50% da sua área total já foi desvegetada (Françoso et al. 2015; Beuchle et al. 2015). Apesar da sua elevada biodiversidade e grau de endemismo, o nível de proteção do Cerrado (8.3%) é muito baixo e apenas 3% do bioma é estritamente protegido (Françoso et al. 2015) o que está muito abaixo dos 17% recomendados pela 10ª Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD 2010a) e as taxas de desmatamento continuam a aumentar (Soares-Filho et al. 2014).

Atualmente, há consenso que as unidades de conservação (UCs) existentes não são suficientes para assegurar a proteção da biodiversidade brasileira e que são pesquisadas e distribuídas de modo desproporcional (Oliveira et al. 2017; Fonseca e Venticinque 2018). Realmente as políticas brasileiras priorizam os ecossistemas florestais em prejuízos dos

ecossistemas não-florestais (Overbeck et al. 2015). Assim, além de pobremente protegido, o Cerrado também é negligenciado pelas políticas governamentais de conservação (Lahsen et al. 2016; Sawyer e Lahsen 2016; Oliveira et al. 2017; Strassburg et al. 2017).

Diante das rápidas mudanças globais, escassez de recursos financeiros e humanos destinados as ações de conservação, priorizar áreas e táxons para preservação é um árduo desafio (Xu et al. 2017). Então, melhorar as estratégias de conservação é crucial para minimizar a perda de espécies, promover a resiliência das populações e/ou comunidades e garantir a manutenção dos processos ecossistêmicos (Reusch et al. 2005). Embora a riqueza, o endemismo e a vulnerabilidade sejam características importantes e tradicionalmente usadas na identificação de áreas prioritárias, elas se concentram apenas em uma dimensão da biodiversidade, a taxonômica. O planejamento da conservação apoiado em diversidade filogenética mostra-se mais representativo e promissor (Devictor et al. 2010; Guilhaumon et al. 2015; Thuiller et al. 2015; Brum et al. 2017), uma vez que considera o grau de parentesco das espécies que compõe a comunidade e captura a dimensão dos processos históricos evolutivos responsáveis pelos padrões atuais de biodiversidade (Cianciaruso et al. 2009; Flynn et al. 2011; Magurran 2013). Assim, a diversidade filogenética é importante para conservação biológica (Faith et al. 2004; Srivastava e Vellend 2005; Faith 2008; Winter et al. 2009, 2013), vital para o equilíbrio das comunidades (Faith et al. 2010; Srivastava et al. 2012) e para os processos ecossistêmicos (Cadotte et al. 2008, 2012; Cardinale et al. 2012). Diferentes métricas de diversidade estão sendo reconhecidas e, comparar essas métricas, pode revelar lacunas na conservação da biodiversidade bem como as áreas prioritárias para a sua preservação (Tucker et al. 2012).

O Cerrado é descrito como um mosaico vegetacional onde ocorrem formações florestais, savânicas e campestres (Ribeiro e Walter 2008). Juntas as formações savânicas e campestres compreendem cerca de 70% da cobertura vegetal natural (Castro e Martins 1999; Sano et al. 2007). Detentor de grande biodiversidade (Oliveira-Filho e Ratter 2002; Cianciaruso et al. 2005) sua flora abriga mais de 12.100 espécies de plantas nativas (BFG 2015) das quais cerca de 44 % endêmicas (Myers et al. 2000; Klink e Machado 2005). A flora nativa é predominantemente heliófita e distribuída em dois estratos florísticos contrastantes: um lenhoso (arbustivo-arbóreo) e outro herbáceo (herbáceo-subarbustivo) (Rizzini 1997; Coutinho 2002)

que possui a maior riqueza florística do Cerrado (Batalha e Mantovani 2001; Mendonça et al. 2008; BFG 2015).

Os estudos para entender os padrões de distribuição e riqueza da flora do Cerrado estão concentrados nas espécies lenhosas (Ferreira et al. 2009; Dantas e Batalha 2011; Bueno et al. 2013b; Rezende et al. 2018). No entanto, para as espécies da flora herbáceo-subarbastiva o cenário é bem diferente, apesar dessas espécies merecerem destaque pela sua importância na composição da paisagem do Cerrado (Filgueiras 2002; Meirelles et al. 2002; Tannus e Assis 2004; Felfili e Silva-Júnior 2005; Munhoz e Felfili 2006a, b, 2007a; Ramos et al. 2006; Mendes et al. 2012), pela sua riqueza (Batalha e Martins 2002; Mendonça et al. 2008; Assunção et al. 2011; Amaral et al. 2017) e pelos aspectos ecológicos que envolvem a sua flora (e.g. Sarmiento e Monasterio 1983; Munhoz e Felfili 2005, 2007; Eugênio et al. 2011; Bustamante et al. 2012; Amaral et al. 2013; Araújo et al. 2013; Mendes et al. 2014). Apesar da relevância das informações já produzidas sobre o estrato herbáceo-subarbastivo no Cerrado, ainda há várias lacunas de conhecimento a serem preenchidas, por exemplo, em relação aos seus aspectos macroecológicos, fitogeográficos, sobre a influência do ambiente com o espaço na distribuição das espécies e na diversidade filogenética contida nesse estrato, bem como, seu estado de conservação.

Neste contexto, com o intuito de diminuir essas lacunas de conhecimento e ampliar as informações sobre a flora herbáceo-subarbastiva do Cerrado foi construído um amplo banco de dados com espécies herbáceas e/ou subarbastivas georreferenciadas, para analisar os padrões macroecológicos de distribuição, riqueza e diversidade evolutiva da flora desse estrato e o seu estado de conservação. Assim, essa abordagem constitui uma tentativa de contribuir para o conhecimento e a conservação da flora herbáceo-subarbastiva do Cerrado. Para tal, a tese foi dividida em dois capítulos:

Capítulo 1: “Influência das variáveis espaciais e ambientais na distribuição da flora do estrato herbáceo-subarbastivo do Cerrado”, com os objetivos de: (1) detectar quais fatores ambientais são mais importantes na delimitação da distribuição das espécies herbáceo-subarbastivas no Cerrado (2) Identificar o papel dos processos espaciais intrínsecos (eg. limitação de dispersão) para a distribuição das espécies herbáceo-subarbastivas do Cerrado. Procedeu-se a análise de partição de variância para identificar qual a contribuição relativa dos diferentes processos de montagem de comunidade que regem as comunidades do estrato

herbáceo-subarbustivo. Nosso pressuposto é que os fatores ambientais e espaciais são influenciadores dos aspectos ecológicos que envolvem a diversidade, os padrões de distribuição e riqueza observados nessas comunidades. Além do mais, a heterogeneidade ambiental tem forte influência na estruturação de suas comunidades em escala espacial ampla.

Capítulo 2: “Centros de diversidade para conservação da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado”, com os objetivos de: (1) identificar áreas com alto nível de diversidade filogenética para a flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado; (2) Apontar os hotspots de diversidade e; (3) indicar áreas prioritárias para a conservação da flora herbáceo-subarbustiva que possam contribuir para a preservação das singularidades desse rico bioma. Procedeu-se o calculado e a distribuição espacial das cinco métricas diversidade: Riqueza em espécies (Species Richness - SR), a diversidade filogenética (Phylogenetic Diversity - PD), o tamanho do efeito padronizado da PD (Standardized Effect Size - ses.PD), a distinção evolutiva (Evolutionary distinctiveness - ED) e a distinção evolutiva ponderada biogeograficamente (Biogeographically weighted evolutionary distinctiveness - BED); para identificar os grids *hotspots* de diversidade e as áreas prioritárias para conservação. O pressuposto é que haveria uma maior concentração de grids *hotspots* nas áreas centrais do Cerrado, onde predomina o cerrado *stricto sensu* e, alguns outros pelas áreas marginais próximas as regiões de contato com outros biomas.

REFERÊNCIAS

Alho CJR (2005) Desafios para a conservação do Cerrado, em face das atuais tendências de uso e ocupação. In: Scariot, A.; Sousa-Silva, J.C.; Felfili, J.M. (Org.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 367–381

Amaral AG, Munhoz CBR, Eugênio CUO, Felfili JM (2013) Vascular flora in dry-shrub and wet grassland Cerrado seven years after a fire, Federal District, Brazil. Check List 9:487–503. <https://doi.org/10.15560/9.3.487>

Amaral AG, Munhoz CBR, Walter BMT, et al (2017) Richness pattern and phytogeography of the Cerrado herb–shrub flora and implications for conservation. J Veg Sci 28:848–858. <https://doi.org/10.1111/jvs.12541>

Araújo GM, Amaral AF, Bruna EM, Vasconcelos HL (2013) Fire drives the reproductive responses of herbaceous plants in a Neotropical swamp. Plant Ecol. 214:1479–

1484

Assunção VA, Guglieri-Caporal A, Sartori ÂLB (2011) Florística do estrato herbáceo de um remanescente de cerrado em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Hoehnea* 38:281–288. <https://doi.org/10.1590/s2236-89062011000200008>

Baltzer JL, Davies SJ (2012) Rainfall seasonality and pest pressure as determinants of tropical tree species' distributions. *Ecol Evol* 2:2682–2694. <https://doi.org/10.1002/ece3.383>

Baltzer JL, Davies SJ, Bunyavejchewin S, Noor NSM (2008) The role of desiccation tolerance in determining tree species distributions along the Malay-Thai Peninsula. *Funct Ecol* 22:221–231. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01374.x>

Batalha MA, Mantovani W (2001) Floristic composition of the cerrado in the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, southeastern Brazil). *Acta Bot Brasilica* 15:289–304. <https://doi.org/10.1590/s0102-33062001000300001>

Batalha MA, Martins FR (2002) Life-form spectra of Brazilian cerrado sites. *Flora* 197:452–460. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00062>

Bell G (2001) Neutral macroecology. *Science* (80-.). 293:2413–2418

Bell G, Lechowicz MJ, Appenzeller A, et al (1993) The spatial structure of the physical environment. Springer-Verlag

Beuchle R, Grecchi RC, Shimabukuro YE, et al (2015) Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Appl Geogr* 58:116–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>

BFG BFG (2015) Growing knowledge: An overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguesia* 66:1085–1113. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>

Brum FT, Graham CH, Costa GC, et al (2017) Global priorities for conservation across multiple dimensions of mammalian diversity. *Proc Natl Acad Sci U S A* 114:7641–7646. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706461114>

Bueno ML, Dexter KG, Pennington RT, et al (2018) The environmental triangle of the Cerrado Domain: Ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas. *J Ecol* 106:2109–2120. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12969>

Bueno ML, Neves DRM, Souza AF, et al (2013) Influence of edaphic factors on the floristic composition of an area of cerrado in the Brazilian central-west. *Acta Bot Brasilica* 27:445–455. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000200017>

Bueno ML, Rezende VL, Pontara V, de Oliveira-Filho AT (2017) Floristic distributional patterns in a diverse ecotonal area in South America. *Plant Ecol* 218:1171–1186.

<https://doi.org/10.1007/s11258-017-0759-1>

Bustamante MMC, de Brito DQ, Kozovits AR, et al (2012) Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). *Plant Ecol* 213:795–808. <https://doi.org/10.1007/s11258-012-0042-4>

Cadotte MW, Cardinale BJ, Oakley TH (2008) Evolutionary history and the effect of biodiversity on plant productivity. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105:17012–17017. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805962105>

Cadotte MW, Dinnage R, Tilman D (2012) Phylogenetic diversity promotes ecosystem stability. *Ecology* 93:223–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/11-0426.1>

Cardinale BJ, Duffy JE, Gonzalez A, et al (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

Cardoso da Silva JM, Bates JM (2002) Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. *Bioscience* 52:225. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:bpacit\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:bpacit]2.0.co;2)

Castro AAJF, Martins FR (1999) Cerrados do Brasil e do Nordeste: Caracterização, Área de Ocupação e Considerações sobre a sua Fitodiversidade. *Pesqui em Foco* 7:147–178

CBD Convention on Biological Diversity (2010) Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its Tenth Meeting X/2. The Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020 and the Aichi Biodiversity Targets. In: Convention on Biological Diversity Conference of the Parties. Available from <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf>. Accessed 11 October 2018.

Cianciaruso MV, Antônio Batalha M, Aurélio Da Silva I (2005) Seasonal variation of a hyperseasonal cerrado in Emas National Park, central Brazil. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants* 200:345–353. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2005.02.001>

Cianciaruso MV, Silva IA, Batalha MA (2009) Diversidades filogenética e funcional: Novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotrop* 9:93–103

Coutinho LM (2002) O bioma do cerrado. In: Aldo Luiz Klein (org) *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. Editora UNESP, São Paulo, p 77–91

Crawley MJ, Harral JE (2001) Scale dependence in plant biodiversity. *Science* (80-) 291:864–868. <https://doi.org/10.1126/science.291.5505.864>

Dantas V de L, Batalha MA (2011) Vegetation structure: Fine scale relationships with soil in a cerrado site. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants* 206:341–346. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2010.11.003>

de Mélo MA, Budke JC, Henke-Oliveira C (2013) Relationships between structure of

the tree component and environmental variables in a subtropical seasonal forest in the upper Uruguay River valley, Brazil. *Acta Bot Brasilica* 27:751–760. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000400015>

de Oliveira Xavier R, Leite MB, Dexter K, da Silva Matos DM (2019) Differential effects of soil waterlogging on herbaceous and woody plant communities in a Neotropical savanna. *Oecologia* 190:471–483. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04423-y>

Devictor V, Mouillot D, Meynard C, et al (2010) Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: The need for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecol Lett* 13:1030–1040. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01493.x>

Diniz-Filho JAF, Siqueira T, Padial AA, et al (2012) Spatial autocorrelation analysis allows disentangling the balance between neutral and niche processes in metacommunities. *Oikos* 121:201–210. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19563.x>

Dray S, Péliissier R, Couteron P, et al (2012) Community ecology in the age of multivariate multiscale spatial analysis. *Ecol Monogr* 82:257–275. <https://doi.org/10.1890/11-1183.1>

Durigan G (2006) Observations on the Southern Cerrado and their Relationship with the Core Area. In: Pennington RT, Lewis GP, Ratter JA (orgs) *Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests Plant Diversity, Biogeography, and Conservation*. CRC Press Inc., p 67–77

Eisenlohr P V., Alves LF, Bernacci LC, et al (2013) Disturbances, elevation, topography and spatial proximity drive vegetation patterns along an altitudinal gradient of a top biodiversity hotspot. *Biodivers Conserv* 22:2767–2783. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0553-x>

Eiten G (1972) The cerrado vegetation of Brazil. *Bot Rev* 38:201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>

Esquivel-Muelbert A, Baker TR, Dexter KG, et al (2017) Seasonal drought limits tree species across the Neotropics. *Ecography* (Cop) 40:618–629. <https://doi.org/10.1111/ecog.01904>

Eugênio CUO, Munhoz CBR, e FelfiLi JM (2011) Dinâmica temporal do estrato herbáceo-arbustivo de uma área de campo limpo úmido em alto paraíso de goiás, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 25:497–507. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200025>

Faith DP (2008) Threatened species and the potential loss of phylogenetic diversity: Conservation scenarios based on estimated extinction probabilities and phylogenetic risk analysis. *Conserv Biol* 22:1461–1470. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01068.x>

Faith DP, Magallón S, Hendry AP, et al (2010) Ecosystem services: An evolutionary perspective on the links between biodiversity and human well-being. *Curr Opin Environ Sustain*

2:66–74. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.04.002>

Faith DP, Reid CAM, Hunter J (2004) Integrating Phylogenetic Diversity, Complementarity, and Endemism for Conservation Assessment. *Conserv Biol* 18:255–261. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00330.x>

Felfili JM, Silva-Júnior MC (2005) Diversidade alfa e beta no cerrado sensu stricto, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (orgs) *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 141–154

Ferreira JN, Bustamante MC da M, Davidson EA (2009) Linking woody species diversity with plant available water at a landscape scale in a Brazilian savanna. *J Veg Sci* 20:826–835. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01076.x>

Filgueiras T de S (2002) Herbaceous Plant Communities. In: Oliveira PS, Marquis RJ (orgs) *The Cerrados of Brazil - Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 1a. Columbia University Press, New York, p 121–139

Flynn DFB, Mirotchnick N, Jain M, et al (2011) Functional and phylogenetic diversity as predictors of biodiversity- Ecosystem-function relationships. *Ecology* 92:1573–1581. <https://doi.org/10.1890/10-1245.1>

Fonseca CR, Venticinque EM (2018) Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning. *Perspect. Ecol. Conserv.* 16:61–67

Françoso RD, Brandão R, Nogueira CC, et al (2015) Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Nat e Conserv* 13:35–40. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>

Gasper AL de, Eisenlohr P V., Salino A (2015) Climate-related variables and geographic distance affect fern species composition across a vegetation gradient in a shrinking hotspot. *Plant Ecol Divers* 8:25–35. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.843604>

Guilhaumon F, Albouy C, Claudet J, et al (2015) Representing taxonomic, phylogenetic and functional diversity: New challenges for Mediterranean marine-protected areas. *Divers Distrib* 21:175–187. <https://doi.org/10.1111/ddi.12280>

Jones MM, Tuomisto H, Borcard D, et al (2008) Explaining variation in tropical plant community composition: Influence of environmental and spatial data quality. *Oecologia* 155:593–604. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0923-8>

Jones MM, Tuomisto H, Clark DB, Olivas P (2006) Effects of mesoscale environmental heterogeneity and dispersal limitation on floristic variation in rain forest ferns. *J Ecol* 94:181–195. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01071.x>

Karst J, Gilbert B, Lechowicz MJ (2005) Fern community assembly: The roles of chance

and the environment at local and intermediate scales. *Ecology* 86:2473–2486. <https://doi.org/10.1890/04-1420>

Klink CA, Machado RB (2005) A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1:147–155

Lahsen M, Bustamante MMC, Dalla-Nora EL (2016) Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. *Environment* 58:4–15. <https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1229537>

Lewis RJ, Pakeman RJ, Marrs RH (2014) Identifying the multi-scale spatial structure of plant community determinants of an important national resource. *J Veg Sci* 25:184–197. <https://doi.org/10.1111/jvs.12071>

Maçaneiro JP de, Oliveira LZ, Seubert RC, et al (2016) More than environmental control at local scales: Do spatial processes play an important role in floristic variation in subtropical forests? *Acta Bot Brasilica* 30:183–192. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0294>

Magurran AE (2013) *Measuring biological diversity*. John Wiley & Sons., Oxford, UK

Marques MCM, Swaine MD, Liebsch D (2011) Diversity distribution and floristic differentiation of the coastal lowland vegetation: Implications for the conservation of the Brazilian Atlantic Forest. *Biodivers Conserv* 20:153–168. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9952-4>

Meirelles ML, Oliveira RC De, Vivaldi LJ, et al (2002) Espécies do Estrato Herbáceo e Profundidade do Lençol Freático em Áreas Úmidas do Cerrado. *Embrapa Cerrados, Planaltina*

Mendes M, Silva Júnior M, Castro A, et al (2014) Temporal change in species and functional plant traits in the moist grassland on the Sete Cidades National Park, Piauí, Brazil. *Brazilian J Biol* 74:111–123. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.18812>

Mendes MRA, Munhoz CBR, Silva Júnior MC, Castro AAJF (2012) Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. *Rodriguesia* 63:971–984. <https://doi.org/10.1590/s2175-78602012000400014>

Mendonça RC de, Felfili JM, Walter BMT, et al (2008) Flora Vascular do Bioma Cerrado – Checklist com 12.356 espécies. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (orgs) *Cerrado: ecologia e flora*. Vol. 2, 1a. Embrapa Cerrado, Brasília, p 222–1279

MMA (2019) Ministério do Meio Ambiente. <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Accessed 30 set 2019

Munhoz CBR, Felfili JM (2006a) Floristics of the herbaceous and subshrub layer of a moist grassland in the cerrado biosphere reserve (Alto Paraíso de Goiás), Brazil. *Edinburgh J*

Bot 63:343–354. <https://doi.org/10.1017/S0960428606000539>

Munhoz CBR, Felfili JM (2006b) Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma área de campo sujo no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 20:671–685. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000300017>

Munhoz CBR, Felfili JM (2007) Reproductive phenology of an herbaceous-subshrub layer of a Savannah (Campo Sujo) in the Cerrado Biosphere Reserve I, Brazil. *Brazilian J Biol* 67:299–307. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000200015>

Munhoz CBR, Felfili JM (2005) Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 19:979–988

Myers N, Mittermeyer RA, Mittermeyer CG, et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Neves DM, Dexter KG, Pennington RT, et al (2015) Environmental and historical controls of floristic composition across the South American Dry Diagonal. *J Biogeogr* 42:1566–1576. <https://doi.org/10.1111/jbi.12529>

Oliveira-Filho AT, Budke JC, Jarenkow JA, et al (2014) Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *J Plant Ecol* 8:242–260. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtt058>

Oliveira-Filho AT de, Ratter JA (2002) Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In: Oliveira PS, Marquis RJ (orgs) *The Cerrados of Brazil - Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 1a. Columbia University Press, New York, p 91–120

Oliveira U, Soares-Filho BS, Paglia AP, et al (2017) Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. *Sci Rep* 7:. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08707-2>

Overbeck GE, Vélez-Martin E, Scarano FR, et al (2015) Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Divers Distrib* 21:1455–1460. <https://doi.org/10.1111/ddi.12380>

Ramos MVV, Curi N, Motta PEF da, et al (2006) Veredas do triângulo mineiro: solos, água e uso. *Ciência e Agrotecnologia* 30:283–293. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542006000200014>

Reusch TBH, Ehlers A, Hä A, Worm B (2005) Ecosystem recovery after climatic extremes enhanced by genotypic diversity

Rezende VL, Bueno ML, Eisenlohr P V., Oliveira-Filho AT (2018) Patterns of tree species variation across southern South America are shaped by environmental factors and historical processes. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 34:10–16.

<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2018.07.002>

Ribeiro JF, Walter BMT (2008) As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (orgs) Cerrado: ecologia e flora. Vol. 1. Embrapa Cerrados, Brasília, p 152–212

Rizzini CT (1997) Tratado de Fitogeografia do Brasil, 2.a. Âmbito Cultural Edições Ltda, Rio de Janeiro

Sano EE, Rosa R, Luís J, et al (2007) Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados

Sarmiento G, Monasterio M (1983) Life forms and phenology. In: Bourliere F (org) Ecosystems of the World XIII. Tropical Savannas. Elsevier, Amsterdam, p 79–108

Sawyer D, Lahsen M (2016) Civil society and environmental change in Brazil's Cerrado. Environ. Sci. Policy Sustain. Dev. 58:16–23

Sitzia T, Dainese M, McCollin D (2014) Environmental factors interact with spatial processes to determine herbaceous species richness in woody field margins. Plant Ecol 215:1323–1335. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0390-3>

Soares-Filho B, Rajão R, Macedo M, et al (2014) Cracking Brazil's Forest Code. Science (80-) 344:363–364. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>

Srivastava DS, Cadotte MW, Macdonald AAM, et al (2012) Phylogenetic diversity and the functioning of ecosystems. Ecol Lett 15:637–648. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01795.x>

Srivastava DS, Vellend M (2005) Biodiversity-ecosystem function research: Is it relevant to conservation? Annu Rev Ecol Evol Syst 36:267–294. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152636>

Strassburg BBN, Brooks T, Feltran-Barbieri R, et al (2017) Moment of truth for the Cerrado hotspot. Nat Ecol Evol 1:1–3. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

Tamme R, Hiiesalu I, Laanisto L, et al (2010) Environmental heterogeneity, species diversity and co-existence at different spatial scales. J Veg Sci 21:796–801. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01185.x>

Tannus JLS, Assis MA (2004) Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de cerrado, Itirapina-SP, Brasil. Rev Bras Bot 27:489–506

Thuiller W, Maiorano L, Mazel F, et al (2015) Conserving the Functional and Phylogenetic Trees of Life of European Tetrapods. Philos Trans R Soc B Biol Sci 370:1–12. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0005>

Tucker CM, Cadotte MW, Davies TJ, Rebelo TG (2012) Incorporating Geographical and Evolutionary Rarity into Conservation Prioritization. *Conserv Biol* 26:593–601. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01845.x>

Winter M, Devictor V, Schweiger O (2013) Phylogenetic diversity and nature conservation: Where are we? *Trends Ecol Evol* 28:199–204. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.015>

Winter M, Schweiger O, Klotz S, et al (2009) Plant extinctions and european flora.pdf. 106:

Xu Y, Shen Z, Ying L, et al (2017) Hotspot analyses indicate significant conservation gaps for evergreen broadleaved woody plants in China. *Sci Rep* 7:1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02098-0>

CAPÍTULO I

Influência das variáveis espaciais e ambientais na distribuição e flora do estrato herbáceo–subarbustivo do Cerrado

Resumo

No Cerrado os estudos para entender os padrões de distribuição, composição, riqueza e diversidade concentram-se na flora lenhosa. A flora herbáceo-subarbustiva é pouco estudada apesar de sua importância na composição da paisagem, riqueza e dos aspectos ecológicos que envolvem a sua flora. Apesar do mérito das informações existentes, há muitas lacunas no conhecimento sobre essa flora a serem preenchidas. Para tal, foi criado um banco de dados com 4.714 espécies herbáceo-subarbustivas georreferenciadas (67.139 registros). Estes dados foram combinados com 39 variáveis geoclimáticas para realização de estudos espaciais em macroescala. A análise de partição de variância revelou a contribuição relativa dos componentes ambientais e espaciais na composição em espécies. Sendo que a fração ambiental explicou apenas 1%; a ambiental espacialmente estruturada 2%; enquanto a fração espacial pura foi a mais alta, 14%; já a fração residual foi de 83%. O padrão de distribuição observado, estreitamente ecológico e ambiental, possivelmente se deve a complexidade e heterogeneidade que envolve a distribuição das espécies herbáceo-subarbustivas, com influência das variáveis climáticas marcantes do Cerrado (estacionalidade e temperatura) e do ciclo de carbono orgânico do solo. Além disso, as espécies desse estrato são bem adaptadas as condições de restrição hídrica e altas temperaturas com diferentes estratégias para superar essas limitações. Como esperado a riqueza ficou concentrada em áreas de fitofisionomias mais abertas. Esse padrão complexo e específico reflete um padrão evolutivo importante que deve ser observado na determinação da rede de conservação do Cerrado, sobretudo nas áreas com alta importância biológica para um estrato tão negligenciado.

Palavras-chave: Savana; Padrão Espacial de Distribuição; Partição de Variância; Macroescala; Conservação; Diversidade

1. Introdução

Os fatores ambientais são os principais determinantes na distribuição, composição e na estrutura das comunidades vegetais (Karst et al. 2005; Jones et al. 2006, 2008; Baltzer et al. 2008; Baltzer e Davies 2012; Maçaneiro et al. 2016; Bueno et al. 2017b; Esquivel-Muelbert et al. 2017; de Oliveira Xavier et al. 2019). Em macroescala, o clima, tem demonstrado ser a principal variável influenciadora dos padrões de distribuição, riqueza e diversidade das espécies, enquanto em microescala, o solo e as interações ecológicas aparentam ter mais influência sobre os padrões observados nas comunidades de plantas (Bell 2001; Crawley e Harral 2001; Tamme et al. 2010; Diniz-Filho et al. 2012; Sitzia et al. 2014; Neves et al. 2015; Bueno et al. 2018a).

Considerando as savanas, a maioria dos estudos sugerem que os fatores climáticos e edáficos são moduladores dos padrões de distribuição das espécies (Staver et al. 2011; Lehmann et al. 2014), ou seja: em macroescala o clima é preponderante e em escala local o solo e o fogo são mais determinantes (Kauffman et al. 1994; Staver et al. 2011; Lehmann et al. 2014; Pausas 2015; Pellegrini et al. 2016; Bueno et al. 2018a; de Oliveira Xavier et al. 2019). No Cerrado, os padrões de distribuição, composição, diversidade e riqueza em espécies, estão relacionados com variações nas condições hídricas, na fertilidade, no pH, concentração de Alumínio e profundidade do solo (Eiten 1972; Meirelles et al. 2002; Ratter et al. 2003; Junior e Haridasan 2005; Tannus 2007; Lindoso et al. 2009; Mendes et al. 2012; Bueno et al. 2013b, 2018a), bem como nos gradientes climáticos e altitudinais (Castro e Kauffman 1998; Tannus e Assis 2004; Batalha et al. 2005; Cianciaruso et al. 2005; Silva e Batalha 2008; Martins e Vieira 2015), no histórico do fogo (Eiten 1972; Silva e Batalha 2009, 2010; Geiger et al. 2011; Araújo et al. 2013), além da influência das flutuações climáticas durante o Quaternário (Bueno et al. 2017a).

O Cerrado possui a savana neotropical mais diversificada do mundo (Myers et al. 2000; Klink e Machado 2005) sua flora abriga mais de 12.100 espécies de plantas nativas (BFG 2018), das quais cerca de 44% são endêmicas (Myers et al. 2000; Scariot et al. 2005) e mais de 8.000 são herbáceas e/ou subarbustivas (REFLORA, [s.d.]). Essa flora é essencialmente heliófita e geralmente distribuída entre dois estratos, sendo um lenhoso (arbustivo-arbóreo) e o outro herbáceo (herbáceo-subarbustivo) (Coutinho 2002). Além disso, o Cerrado é classificado como um *hotspot* mundial de biodiversidade, devido ao elevado grau de ameaça, perda de habitat e de endemismos de espécies animais e vegetais (Myers et al. 2000; Alho 2005; Mittermeier et

al. 2011). Os estudos para entender os padrões de distribuição e riqueza da flora do Cerrado concentra-se principalmente nas espécies lenhosas (Ferreira et al. 2009; Dantas e Batalha 2011; Bueno et al. 2013b; Rossatto 2014; Bueno et al. 2018b). No entanto, para a flora herbáceo-subarbustiva o cenário é bem diferente, apesar de merecerem destaque pela sua importância na paisagem do Cerrado (e.g. Meirelles et al. 2002; Felfili e Silva-Júnior 2005; Munhoz e Felfili 2006a, b; Ramos et al. 2006; Mendes et al. 2012), pela sua riqueza (Mendonça et al. 2001, 2008; Assunção et al. 2011; Martinelli et al. 2014; Amaral et al. 2017) e pelos aspectos ecológicos que envolvem a sua flora (e. g. Sarmiento e Monasterio 1983; Munhoz e Felfili 2005, 2007a; Eugênio et al. 2011; Bustamante et al. 2012b; Amaral et al. 2013; Mendes et al. 2014).

A análise dos padrões espaciais em diferentes escalas e habitats pode possibilitar entender as regras de montagem das comunidades ecológicas e ajudar a desvendar quais processos ecológicos estão envolvidos na formação e/ou manutenção da estrutura, composição e funcionamento das comunidades de plantas (Bell et al. 1993; Marques et al. 2011). Uma abordagem ecológica da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado deve considerar a influência da estrutura espacial na composição em espécies das comunidades vegetais e das variáveis ambientais na distribuição dessas comunidades (Durigan 2006; Legendre et al. 2012; Eisenlohr et al. 2013; de Mélo et al. 2013; Lewis et al. 2014; Oliveira-Filho et al. 2014; Gasper et al. 2015; Rezende et al. 2018)

Apesar da relevância das informações já existentes sobre o estrato herbáceo-subarbustivo no Cerrado, ainda há várias lacunas de conhecimento a serem preenchidas. Buscamos explorar os padrões biogeográficos dessa flora, em macroescala, na tentativa de diminuir essas lacunas e contribuir para a sua conservação. Nosso objetivo foi responder as seguintes perguntas: (i) Quais são os fatores ambientais mais importantes que determinam a distribuição de espécies herbáceo-subarbustivas no Cerrado? Baseado em estudos em diferentes savanas mundo afora (e.g. Medina e Silva 1990; Lehmann et al. 2014; Bueno et al. 2018a), é esperado que a temperatura, a estacionalidade, o fogo e a disponibilidade de água sejam as variáveis ambientais mais importantes para a distribuição dessas espécies. (ii) Qual é o papel dos processos espaciais intrínsecos (variação espacial devido à limitação de dispersão e/ou processos locais) na distribuição das espécies herbáceo-subarbustivas do Cerrado? Nosso pressuposto é que os fatores ambientais e espaciais são influenciadores dos aspectos ecológicos que envolvem a diversidade, os padrões de distribuição e riqueza observados nas comunidades

desse estrato. E ainda, que a heterogeneidade ambiental tem forte influência na estruturação de suas comunidades em escala espacial ampla. Então, analisou-se qual a contribuição relativa dos diferentes processos de montagem de uma comunidade que regem as comunidades do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado. Este trabalho avança na investigação sobre o conhecimento, preenchendo lacunas no conhecimento a respeito dessa vegetação.

2. Materiais e Métodos

2.1 *Área de Estudo*

O Cerrado possui a maior e mais diversificada savana neotropical com heterogênea geomorfologia, grande extensão territorial e localização central na América do Sul entre os grandes biomas florestais da Amazônia e Mata Atlântica e associado ao corredor seco da América do Sul entre a Caatinga e o Chaco (Figura 1-A), ocorrendo ampla variação térmica e edáfica (Eiten 1972; Furley e Ratter 1988; Rossatto 2014; Neves et al. 2015). A congruência dessas características contribui para uma variedade de habitats onde se estabelecem diferentes fitofisionomias com grande biodiversidade (Felfili e Felfili 2001; Oliveira-Filho e Ratter 2002; Cianciaruso et al. 2005). Desta forma, o Cerrado é descrito como um mosaico vegetacional com a ocorrência de formações florestais, savânicas e campestres (Ribeiro e Walter 2008). Juntas as formações savânicas e campestres predominam na cobertura vegetal natural com cerca de 70% (Coutinho 2006; Sano et al. 2010). A flora nativa é essencialmente heliófita, adaptada à forte estacionalidade, à solos ácidos, bem drenados, pobres em nutrientes, ricos em alumínio (Felfili e Silva-Júnior 2005; Klink e Machado 2005) e, com um lençol freático profundo e permanente o que, em geral, não ocorre em outras savanas tropicais (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2009). Tipicamente, observa-se dois estratos florísticos, um lenhoso (árvores e arbustos) e outro herbáceo (ervas e subarbustos) (Coutinho 2002) esse último possui a maior riqueza florística do Cerrado (Mendonça et al. 2008; BFG 2015). Para analisar os padrões de distribuição e riqueza foram gerados grids de 50 km x 50 km (250 km²) em toda extensão do bioma Cerrado (IBGE 2004) com o auxílio do software ArcGIS v.10 (ESRI 2011). Consideramos cada grid uma amostra do conjunto de espécies do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado, para cálculo da riqueza pura (número de espécies dentro do grid). Para levantar o status de conservação desse estrato inserimos as unidades de conservação de proteção integral (UCPIs) nos mapas gerados (Figura 1-A).

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo, Cerrado, Brasil e pontos de ocorrência de espécies herbáceo-subarbusivas do Cerrado.

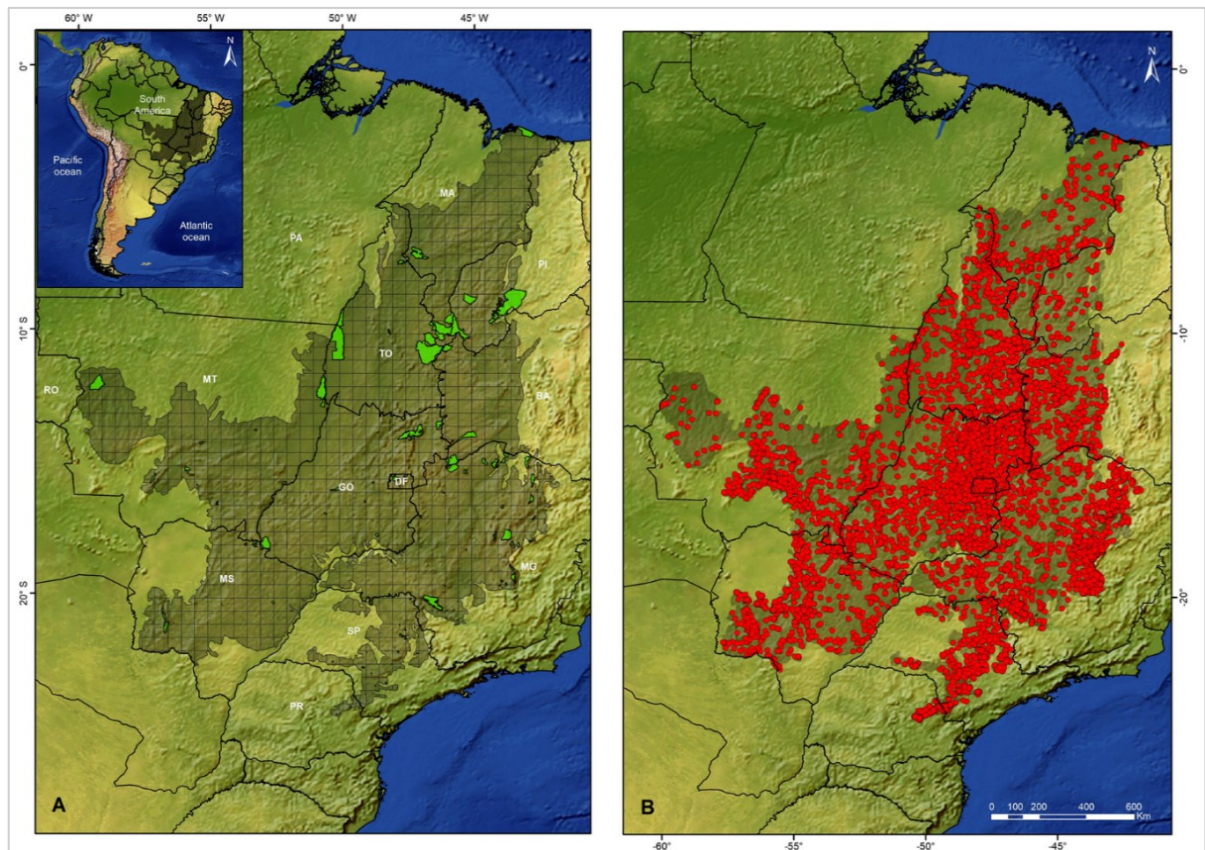


Figura 1: Localização geográfica do Cerrado, Brasil. (A) Localização geográfica do Cerrado e distribuição dos grids (50 km x 50 Km) usados para as análises, as manchas verdes correspondem a unidades de conservação de proteção integral; (B) Distribuição dos pontos de ocorrências (círculos vermelhos) das espécies herbáceo-subarbusivas por toda extensão territorial do Cerrado. Linhas pretas indicam os limites entre os estados brasileiros e o Distrito Federal.

Fonte: Aloirta W. Castilho Silva.

2.2 Banco de Dados

Foi compilado um banco de dados com espécies herbáceo-subarbusivas do Cerrado. Primeiramente, realizou-se o levantamento das espécies a partir do Checklist Flora Vascular do Bioma Cerrado (Mendonça et al. 2008) e do banco de dados do projeto Flora do Brasil 2020, integrante do Programa REFLORA/CNPq (REFLORA, [s.d]). Todas as espécies com ocorrência no Cerrado e forma de vida classificada como erva, herbácea e/ou subarbusiva em uma das fontes anteriormente citadas foram incluídas, totalizando 8.565 espécies herbáceo-

subarbusivas. De acordo com Heringer et al. (1977) as ervas ou herbáceas são plantas não-lenhosas anuais ou perenes e, as subarbusivas são plantas com sistema subterrâneo persistente durante a estação seca e parte aérea com até 0,5 m na estação chuvosa. Na etapa seguinte, extraímos 196.032 registros de ocorrências de espécies para o bioma Cerrado no Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (GBIF) recobrindo toda a extensão do bioma, com um polígono, de acordo com o mapa do IBGE (IBGE 2004). Os registros de ocorrência duplicados foram eliminados e 67.139 registros de ocorrência foram mantidos. Comparamos a lista com espécies georreferenciadas com a lista de espécies herbáceo-subarbusivas e apenas aquelas presentes nas duas listas foram mantidas. Assim, foi obtida uma lista com 4.714 espécies de plantas vasculares herbáceas e subarbusivas do Cerrado georreferenciadas. Na sequência as divergências de sinonímia, nomenclatura e classificação das espécies em famílias botânicas foram resolvidas por meio da ferramenta Taxonomic Name Resolution Service v4.0 (TNRS). A distribuição das espécies foi assumida a partir dos registros de ocorrência (Figura 1-B) e procedeu-se a análise de partição de variância.

2.3 Análise de Partição de Variância

A partir das coordenadas, combinamos os dados de presença/ausência com 39 variáveis geoclimáticas (APÊNDICE A) o que possibilitou a realização de estudos em escala espacial ideal para explorar padrões biogeográficos em larga escala. Investigamos a contribuição relativa dos componentes ambientais e espaciais na variação da composição em espécies das comunidades do estrato herbáceo-subarbusivo do Cerrado. Essa análise foi realizada de acordo com rotina proposta por (Dray et al. 2012) e (Legendre et al. 2012). Esta rotina envolve: (I) a remoção de espécies unicas; (II) a transformação de Hellinger dos registros de ocorrência binários; (III) a preparação de duas análises de redundância, um para as espécies e variáveis ambientais e outro para espécies e filtros espaciais e; (IV) seleção progressiva das variáveis ambientais e espaciais, separadas em dois componentes. Essa rotina produz frações da variância total explicadas exclusivamente pela ordenação dos componentes ambientais e espaciais e a significância de cada um, a partir da construção de vários modelos lineares. Além da fração explicada pela combinação indivisível destes dois componentes e da fração residual. As análises foram executadas no software R Statistical Environment (R Development Core Team 2018)

com o uso dos pacotes “packfor” (Dray et al. 2009), “Spacemaker” (Dray 2010), “vegan” (Oksanen et al. 2016) e “spdep” (Bivand 2013).

2.4 Status de Conservação

Para verificar o grau de proteção da flora herbáceo-subarbustiva utilizamos o mapa da distribuição das unidades de conservação de proteção integral (UCPI) do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) disponível em <http://mapas.mma.gov.br> (MMA 2019). Posteriormente, calculou-se a quantidade de espécies presentes dentro das UCPIs e o percentual de espécies em cada categoria de acordo com a classificação da *International Union for Conservation of Nature* - IUCN (IUCN 2020), publicadas no site Re flora (REFLORA, [s.d]) e no Livro Vermelho da Flora do Brasil - Plantas Raras do Cerrado (Martinelli et al. 2014).

3. Resultados

3.1 Composição e Riqueza

As análises tiveram por base o conjunto de 4.714 espécies, distribuídas em 782 gêneros de 113 famílias botânicas. Trinta dessas famílias (27%) englobam a maior parte das espécies (86%) e dos gêneros (74%) (APÊNDICE B). Dentre as famílias mais representativas, destacamos Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Orchidaceae, Eriocaulaceae e Cyperaceae que representam quase a metade (43%) do conjunto de espécies. Juntas, totalizam 2056 espécies. As demais 83 famílias (73%) abrigam apenas 14% das espécies e 26% dos gêneros. Vinte e três famílias possuem apenas uma espécie, como por exemplo, Apodanthaceae (*Pilostyles blanchetii*) e Zamiaceae (*Zamia boliviana*). Os 30 gêneros mais representativos correspondem a 33% (1.580) do total de espécies, dentre os quais estão: *Paepalanthus*/Eriocaulaceae (106), *Paspalum*/Poaceae (91), *Chamaecrista*/Fabaceae (81), *Mimosa*/Fabaceae (74), *Hyptis*/Lamiaceae (72), *Habenaria*/Orchidaceae (71), *Xyris*/Xyridaceae (71), *Diplusodon*/Lythraceae (70), *Rhynchospora*/Cyperaceae (70), *Oxalis* (33) único gênero representante da família Oxalidaceae e *Peperomia* (31) um dos dois gêneros de Piperaceae, no nosso banco de dados (APÊNDICE C).

O padrão de distribuição de riqueza em espécies foi concentrado nas áreas que são caracterizadas pela presença de fitofisionomias mais abertas das formações savânicas e campestres (Figura 2). Podemos destacar, neste padrão as regiões da Cadeia do Espinhaço, no

estado de Minas Gerais (MG) e, principalmente, a região central do Cerrado, com áreas de veredas, campos, cerrado *sensu stricto*. e regiões elevadas como a Chapada dos Veadeiros e as terras altas da região do Distrito Federal (DF). Também cabe, destacar a região central do estado de Mato Grosso do Sul (MS), com importantes áreas de veredas e chapadas. Adicionalmente há os campos gerais de Ponta Grossa, Paraná (PR).

Figura 2 – Padrão de distribuição de riqueza da flora herbáceo-subarbastiva do Cerrado.

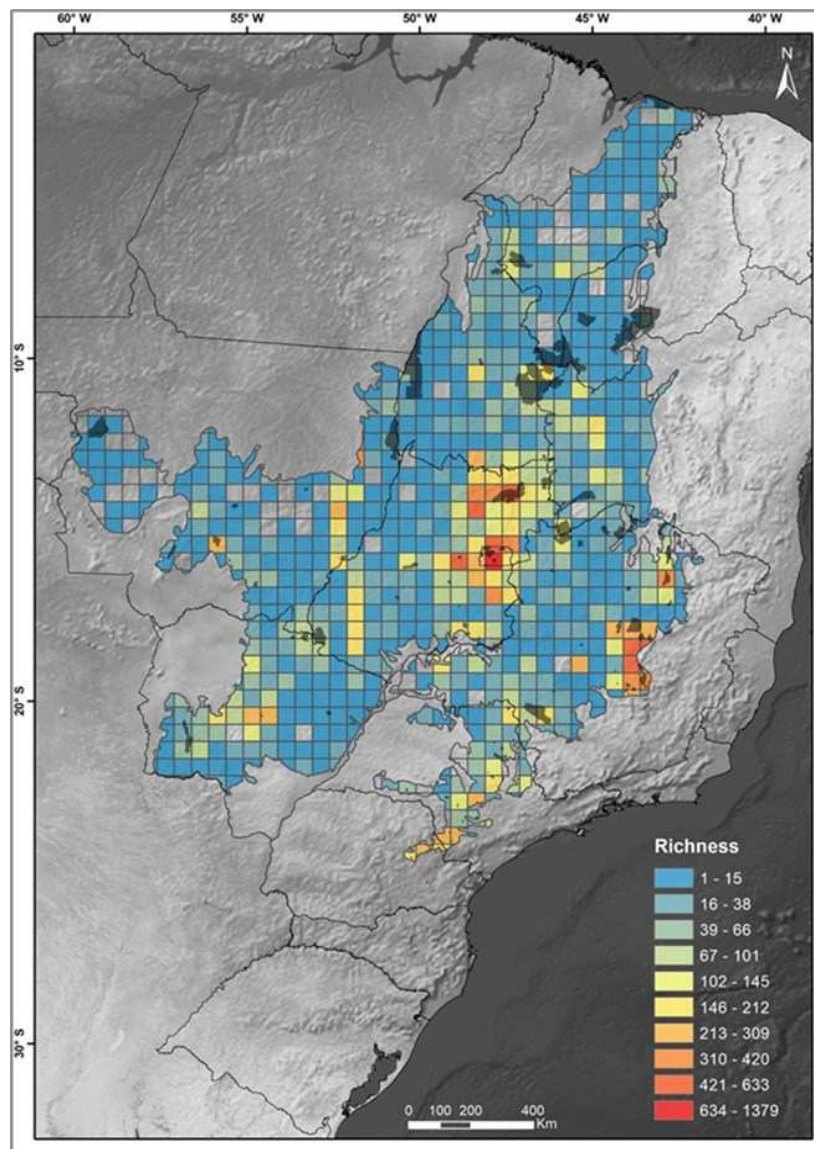


Figura 1. Padrão de distribuição de riqueza da flora herbáceo-subarbastiva do Cerrado. Manchas cinza correspondem a unidades de conservação de proteção integral (UCPIs). Linhas cinza indicam os limites entre os estados brasileiros e o Distrito Federal.

Fonte: Aloirta W. Castilho Silva

3.2 Padrões dos Fatores Ambientais e Espaciais

O padrão de distribuição e riqueza de planta que emerge é influenciado por gradientes ambientais, interações bióticas e barreiras geográficas. O impacto das barreiras geográficas não foi considerado já que nenhuma barreira geográfica marcante divide o Cerrado. As variações na temperatura, precipitação e teor de carbono no solo foram mais significativos para explicar as substituições na ocorrência das espécies (Figura 2).

Entre as variáveis preditoras empregadas (APÊNDICE A) apenas quatro, foram significativas na análise da distribuição de espécies herbáceo-subarbusivas do Cerrado (Tabela 1). As variáveis climáticas bio 2 (Intervalo diurno média mensal), bio 8 (Temperatura média do trimestre mais úmido), bio 14 (Precipitação do mês mais seco) e a variável edáfica orcdrc (Teor de carbono orgânico no solo).

Tabela 1 – Variáveis geoclimáticas selecionadas pela análise de partição de variância.

Variáveis	R ² .adj	Df	AIC	F	Pr (>F)
bio 8	0.018414	1	4652.3	14.7320	0.002 **
bio 2	0.021447	1	4651.0	3.2656	0.026 *
bio 14	0.024420	1	4649.8	3.2245	0.042 *
orcdrc	0.026835	1	4649.0	2.8093	0.044 *
outras variáveis	0.030991	-	-	-	-

Nota: Variáveis Geoclimáticas: Variável *bio 8* (Temperatura média do trimestre mais úmido); *bio 2* (Intervalo diurno média mensal); *bio 14* (Precipitação do mês mais seco); *orcdrc* (Teor de carbono orgânico do solo/fração de terra fina); R².adj = R² acumulado ajustado; $P < 0.05$ para todas as variáveis selecionadas.

Fonte: Aloir W. de Castilho Silva

A partição de variância explicada pela fração ambiental foi de apenas 1% e a fração ambiental espacialmente estruturada 2%, enquanto a fração espacial pura foi a mais alta entre as frações no esquema de particionamento de variância, 14%. A fração indeterminada foi de 83% (Figura 3).

Figura 3 – Frações da Partição de variância na distribuição das espécies herbáceo-subarbustivas do Cerrado.

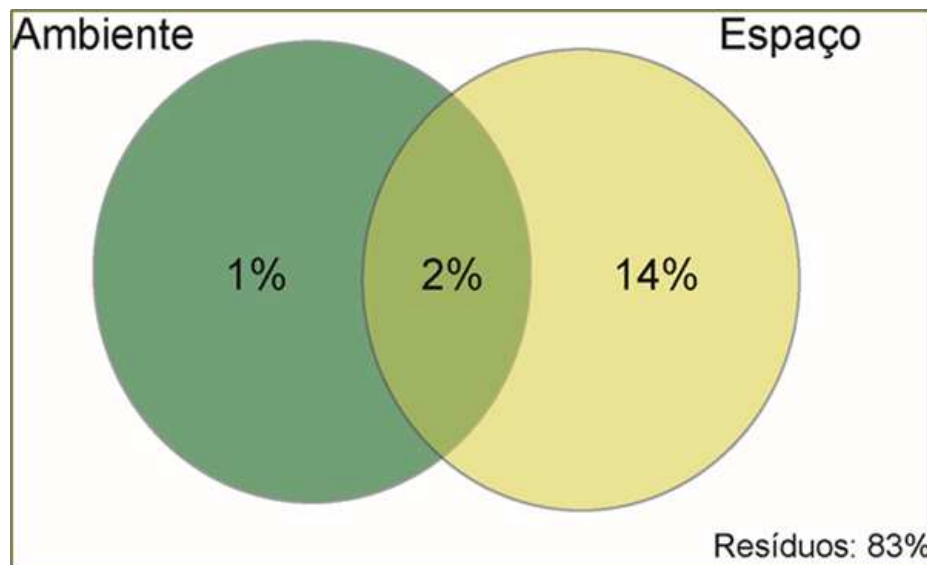


Figura 3. Partição de variância na distribuição das espécies herbáceo-subarbustivas da flora do Cerrado. Fração ambiental (1%); Fração espacial (14%); fração ambiental espacialmente (2%) e fração não explicável ou resíduos (83%).

Fonte: Aloirta W. Castilho Silva

3.3 Status de Conservação

Das 4.714 espécies analisadas, 2.642 não apresentaram registros de ocorrências dentro das UCPIs. O número de espécies ocorrendo dentro das UCPIs (2.072) foi menor e correspondem a 44% do total. Destas, 7% estão classificadas nas categorias de ameaçadas (CR, EN e VU), 82% como não avaliadas (NE) e os 11% restantes representam espécies das categorias quase ameaçadas (NT), menos preocupantes (LC) e com dados insuficientes (DD), conforme as categorias da IUCN (IUCN 2020). O número absoluto de espécies sem registros de ocorrências em UCPIs foi maior, mas os percentuais para as categorias da IUCN, foram pouco diferentes aos das espécies com registros. Porém, as espécies com registro em UCPIs também podem estar ocorrendo fora delas, o que não foi capturado pela metodologia empregada aqui. Mas considerando essa informação e que o número de espécies sem registro de ocorrência em UCPIs foi maior é possível inferir que esses percentuais possam ser maiores do que o apresentado aqui (Figura 4).

Figura 4 – Ocorrência de registros de espécies dentro das unidades de conservação de proteção integral (UCPIs).

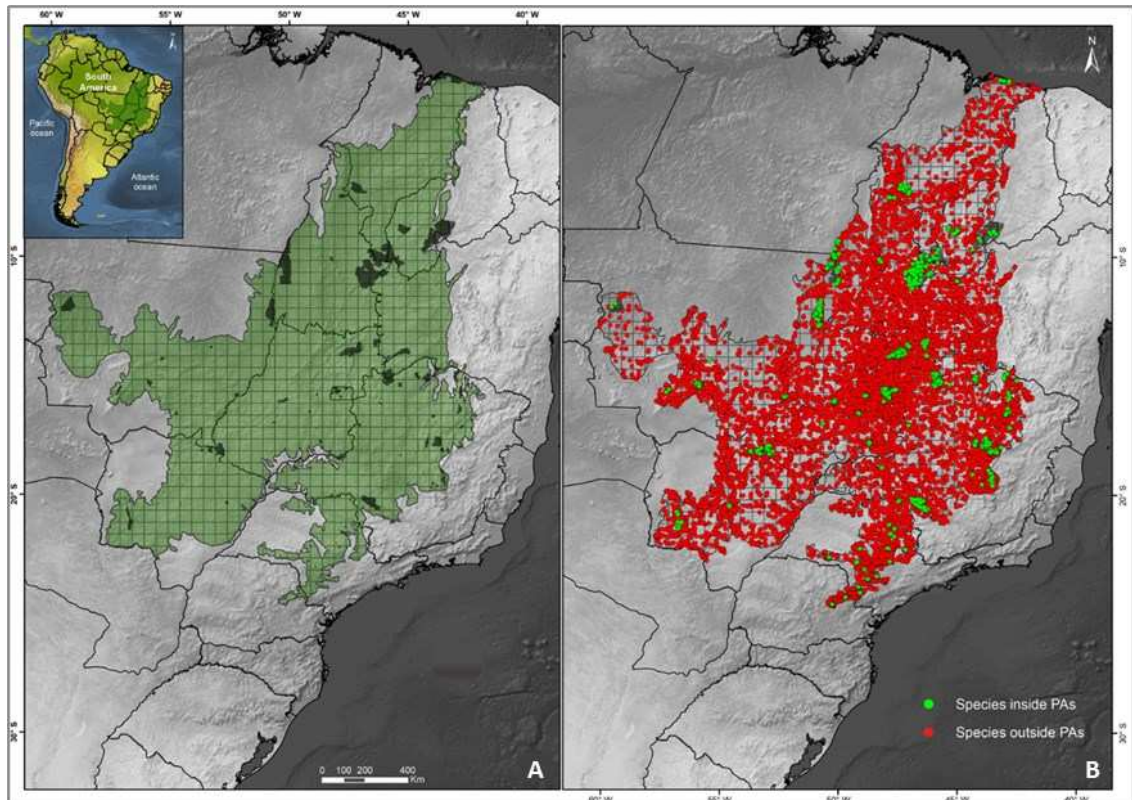


Figura 4. Ocorrência de registros de espécies dentro das unidades de conservação de proteção integral (UCPIs). (A) Manchas verde escuro indicam as UCPIs; (B) os pontos vermelhos correspondem aos registros de espécies que estão ocorrendo fora das UCPIs e os pontos verdes das espécies com ocorrência dentro das UCPIs. Linhas cinzas representam os limites entre os estados brasileiros e o Distrito Federal. Fonte: Aloirta W. Castilho Silva

4. Discussão

O Cerrado apresenta uma grande extensão territorial com ampla variação geomorfológica proporcionando uma alta heterogeneidade topográfica e ambiental de modo que a maior contribuição (14%) da fração puramente espacial (Figura 3) para explicar a variação na distribuição das espécies pode ser influenciada por essa heterogeneidade (Spichiger et al. 2004; Oakley e Prado 2011; Neves et al. 2015; Moggi et al. 2015; Rezende et al. 2016). Os gradientes topográficos mostram uma relação com os atributos do solo, o que promove

contrastes no nível do lençol freático, nas concentrações de umidade e matéria orgânica e na constituição química do solo e, ainda indiretamente na distribuição das espécies ao longo desses gradientes (Botrel et al. 2002; Luizao et al. 2004; Costa et al. 2005; Chagas et al. 2013).

Esses contrastes podem gerar distintos padrões espaciais de distribuição, composição e de diversidade de espécies da flora herbáceo-subarbustiva (e. g. Araújo et al. 2002; Tannus e Assis 2004; Ramos et al. 2006; Tannus 2007; Cianciaruso e Batalha 2008; Santos e Munhoz 2014). De fato, em áreas com alta heterogeneidade ambiental, a colonização e partilha de habitats por espécies com diferentes exigências ou preferências ambientais são favorecidas e podem impulsionar a diversidade local (Macarthur et al. 1966; Conner e Dickson 1997; Aleixo 1999) e sustentam uma maior riqueza em espécies (Simberloff e Abele 1982). Assim, a fração espacial pura tem relação com as respostas intrínsecas da espécie que não estão associadas as condições ambientais e parece ser mais importante para espécies generalistas quanto ao habitat (Crist et al. 2006). Afinal, espécies generalistas ou não especialistas são menos exigentes quanto a habitats específicos, em geral, são bem adaptadas a diversos habitats.

As variáveis ambientais e espaciais, juntas, explicaram apenas 2% da distribuição e composição de espécies das comunidades (Figura 3). O padrão da estruturação espacial em comunidades de plantas exibe uma alta complexidade porque reúne os fatores ambientais e os ecológicos, como a dispersão e a competição (Fortin et al. 2005; Yang et al. 2009). Tal resultado sugere que os efeitos ambientais importantes para as comunidades dessa flora não podem ser separados dos efeitos espaciais (e. g. Diniz-Filho et al. 2012). A fração espacialmente estruturada pode estar relacionada as dinâmicas neutras (Diniz-Filho et al. 2012) ou, alternativamente, com variáveis não abordadas nessa análise. A alternância na composição das espécies no ambiente ocorre em função da sua história de vida, das suas características ecológicas e pela maneira como respondem as condições ambientais (Botrel et al. 2002; Durigan e Ratter 2006; Marimon et al. 2006; Pinheiro e Durigan 2009).

Em geral, as variáveis ambientais afetam substancialmente os cálculos de diversidade e distribuição das espécies (Chao et al. 2016). No Cerrado, em ampla escala, as variáveis ambientais climáticas demonstraram ter maior influência nas comunidades arbóreas (Françoso 2014) e herbáceo-arbustivas (Amaral et al. 2017). Já em pequena escala, as variáveis edáficas tendem a ser mais influenciadoras (Bueno et al. 2013a, b). No entanto, apenas uma pequena fração ambiental (1%) foi explicativa para o verificado neste trabalho (Figura 3). As variáveis

climáticas selecionadas apresentam relação com a estacionalidade, um fator significativo na distribuição de espécies no Cerrado.

Mudanças nos regimes de temperatura e precipitação são fatores que influenciam a composição e distribuição das espécies do Cerrado (Castro e Martins 1999; Oliveira-Filho e Ratter 2002; Bustamante et al. 2012a; Amaral et al. 2017). Essas mudanças parecem interferir indiretamente em processos que determinam as diferenças na textura, na disponibilidade de nutrientes e água no solo (Araújo et al. 2002; Munhoz et al. 2008; Mendes et al. 2012). Wittmer et al. (2010) encontraram evidências que o equilíbrio entre gramíneas C3 e C4, em pastagens da Mongólia, pode ser influenciado pela temperatura e teor de CO₂. Teores elevados de CO₂ colaboram para o aumento da produtividade de espécies C3 (Collatz et al. 1998), ao passo que temperaturas mais elevadas contribuem para produtividade e riqueza em espécies C4 (Hattersley 1983). Dentro da pequena fração ambiental explicável, a temperatura e a estacionalidade foram significativamente relacionadas com a distribuição das espécies herbáceo-subarbusivas do Cerrado (Tabela 1). As variáveis ambientais importantes nesse trabalho (Tabela 1) podem ter relação com as diferentes estratégias adaptativas dessas espécies às condições de restrição hídrica.

As espécies do estrato herbáceo-subarbusivo são majoritariamente heliófitas perenes (Coutinho 2002). Essas espécies são bem adaptadas as condições extremas de seca, altas temperaturas, acidez e baixo teor de nutrientes do solo, com diferentes estratégias para superar essas condições (Borghetti et al. 2019). Como por exemplo, o desenvolvimento de órgãos subterrâneos (e.g. bulbos, xilopódios e sóboles) que podem acumular reservas e conferir resistência à seca e ao fogo (Coutinho 2002; Simon et al. 2009; Simon e Pennington 2012). Essas estruturas também são importantes para o ciclo do carbono, pois armazenam o carbono (C) absorvido pelas raízes mais superficiais que pode ser liberado para atmosfera no final da estação seca (e. g. Bustamante et al., 2012a). Os teores de C no solo são afetados basicamente pela estacionalidade e práticas de manejo (Barros 2013). A microbiota do solo representa uma pequena reserva (3%) do carbono disponível no solo (Silva e Mendonça 2007) e é afetada pela precipitação, no cerrado *sensu stricto* e campo sujo (Bustamante et al. 2012a). Bustamante et al. (2012b) mostraram que a fertilização pode provocar alterações na rotatividade e alocação de C em espécies da flora herbáceo-subarbusiva com mudanças na arquitetura das plantas e por consequência na estrutura da comunidade.

Apesar de alto, o valor da fração residual aqui registrado é comum em estudos dessa natureza e com escalas espaciais semelhantes (Oliveira-Filho et al. 2014; Neves et al. 2015; Bueno et al. 2017b). Essa fração revela que a amostragem ou outras variáveis não abordadas nessa análise certamente são importantes para explicar a composição, riqueza e distribuição das espécies herbáceo-subarbustivas no Cerrado (Legendre et al. 2009). A riqueza em espécies do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado é maior do que do estrato lenhoso, mas os fatores que contribuem para essa riqueza ainda não são claros.

Em diferentes biomas sul africanos, a heterogeneidade topográfica foi um forte preditor do padrão de riqueza tanto da flora lenhosas quanto herbácea, pois contribuiu para a formação de uma variedade de nichos estáveis, no espaço e no tempo (Thuiller et al. 2006). De fato, a heterogeneidade espacial proporciona uma diversidade de nichos, e parecem abrigar mais espécies do que áreas menos heterogêneas (Rosenzweig 1995). Isso é igualmente relevante no contexto histórico e evolutivo pois, presumivelmente, as taxas de especiação são maiores e as de extinção menores em ambientes heterogêneos (Poethke et al. 2003; Konvicka et al. 2006). As savanas neotropicais apresentam uma mistura de elementos florísticos de diferentes origens e afinidades (Sarmiento e Monasterio 1983; Simon et al. 2009; Borghetti et al. 2019). Além disso, a extensão juntamente com a localização central do Cerrado proporciona vários contatos com outros biomas (Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e o Pantanal) o que favorece o compartilhamento de espécies entre esses biomas, e ainda contribui para o recrutamento de linhagens (Simon et al. 2009) e, por consequência, o aumento da sua diversidade. Por isso, considerar essas áreas de contato na elaboração de estratégias de conservação concorre para conservar uma paisagem ímpar e a multiplicidade adaptativa de suas espécies (Smith et al. 2001).

Entre as 15 famílias mais representativas para o estrato de herbáceo-subarbustivo (APÊNDICE B), oito estão entre as nove famílias botânicas avaliadas como hiperdiversas no Brasil (Rapini et al. 2009). Dentre elas, Asteraceae, Poaceae, Fabaceae e Orchidaceae foram as famílias com o maior número de espécies, 1.582 (33%) neste trabalho. Essas famílias estão entre as dez famílias de angiospermas mais diversas do Cerrado e com maior número de endemismo (Forzza et al. 2010), além de consideradas como as mais representativas do estrato herbáceo (Filgueiras 2002). Asteraceae (458 espécies aqui registradas) e Poaceae (428 espécies) são bem adaptadas às condições de elevada intensidade luminosa, típica de fisionomias abertas

do Cerrado (Batalha e Mantovani 2001; Araújo et al. 2002; Tannus e Assis 2004; Rossatto et al. 2008) e, quase exclusivas do estrato herbáceo-subarbustivo (Mantovani e Martins 1993; Munhoz e Felfili 2007b). Na região central, as Poaceae podem representar até 25% do total de espécies do Cerrado (Filgueiras 2002). A família Fabaceae, amplamente distribuída pelas formações vegetais neotropicais, como o Cerrado e outras formações adjacentes (Schrire et al. 2005) teve alta representatividade com 385 espécies, o que pode ser atribuído ao fato da região central do Brasil ser considerada como o principal centro de diversificação dessa família (Polhill et al. 1981), além da alta plasticidade presente em alguns representantes do grupo (Schrire et al. 2005) e de algumas espécies apresentarem nódulos radiculares capazes de fixar nitrogênio atmosférico o que lhes conferem alta competitividade nos solos distróficos do Cerrado (Goodland 1979). Apesar de ter sua riqueza concentrada na Mata Atlântica, a família Orchidaceae apresentou 311 espécies de 75 gêneros. As espécies de Orchidaceae tem alta ocorrência nos campos rupestres, como por exemplo, na Cadeia do Espinhaço, região com alto endemismo e raridade de espécies (Giulietti et al. 2005; Rapini et al. 2008; Bitencourt e Rapini 2013).

Apesar do alto endemismo e grande diversidade de espécies que abriga, o Cerrado encontra-se sob grande ameaça (Françoso et al. 2016; Lahsen et al. 2016; Damasco et al. 2018; Vieira et al. 2019) com um elevado número de espécies ameaçadas de extinção (Martinelli et al. 2014). As atuais unidades conservação de proteção integral do Cerrado (UCPIs) são muito importantes, mas cobrem uma pequena porção e não fornecem proteção efetiva para a sua flora herbáceo-subarbustiva (Figura 4). O número de registros de espécies fora (2.642) das UCPIs foi maior do que o de registros dentro delas (2.072) e a quantidade de espécies ameaçadas de extinção fora delas também. O percentual de espécies não avaliadas (82%) foi muito alto tanto dentro quanto fora das UCPIs o que aponta para a necessidade de mais coletas e estudos florísticos voltados para essa flora que possam contribuir para o seu conhecimento, agregar valor às UCPIs existentes e para a criação de novas áreas de proteção.

De maneira geral, as espécies do Cerrado estão pouco protegidas, principalmente porque as UCPIs não contemplam as diferentes fitofisionomias que compõem esse mosaico vegetacional e em grande parte são áreas isoladas sem remanescentes em seu entorno. Cada fitofisionomia tem características ambientais específicas com uma composição florística típica e, algumas abrigam espécies únicas com adaptações ao grau de saturação ou drenagem de água

no solo (Borghetti et al. 2019). Proteger o Cerrado significa proteger os diferentes ecossistemas que o compõem. Portanto, é importante rediscutir e reconsiderar os planos de conservação para o Cerrado, visto que as atuais políticas não refletem a importância biológica, ecológica e social desse mosaico fitofisionômico (Durigan 2013; Lahsen et al. 2016; Sawyer e Lahsen 2016; Sawyer et al. 2017) e da sua flora herbácea-subarbustiva.

A pecuária, a mineração e expansão da fronteira agrícola levam a degradação ou perda de habitat por isso são as principais ameaças a biodiversidade do Cerrado (Sano et al. 2010; Scarano et al. 2014). Segundo Sano et al. (2019), as áreas mais propícias para receberem novas áreas de proteção estão na região norte do Cerrado onde concentra-se a maior parte da sua vegetação nativa remanescente. Essas áreas estão contidas nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia que compõem a fronteira agrícola, MATOPIBA, região definida pelo governo brasileiro como de prioridade para a ocupação agrícola (Borghetti et al. 2017). Assim, essa região está sob grande e constante pressão antrópica devido a pecuária e a expansão dessa fronteira agrícola (Miranda et al. 2014; Strassburg et al. 2017; Sano et al. 2019). Além da paisagem, a conversão rápida de terras coloca em risco outros importantes serviços ecossistêmicos prestado por esse bioma como o fornecimento de água para consumo humano, para setor agropecuário e a produção de energia hidroelétrica (Lima et al. 2011). O Cerrado é considerado “o berço das águas” pois abriga três grandes aquíferos que são reservatórios subterrâneos de água e, as nascentes de importantes rios integrantes das bacias hidrográficas do Araguaia-Tocantins, do São Francisco e do Paraná (Damasco et al. 2018). A fragmentação antrópica do bioma também acarreta a degradação e erosão do solo, perda de diversidade biológica, invasão de espécies exóticas e grandes mudanças na paisagem (Klink e Machado 2005; Rangel et al. 2007; Vasconcelos 2014; Lahsen et al. 2016; Rocha et al. 2018). Dessa forma, as áreas remanescentes deveriam ser usadas para expandir a rede de conservação do Cerrado, sobretudo nas áreas onde se observa alta biodiversidade, riqueza, endemismo e raridade de espécies com alto risco de ameaças que levam principalmente a degradação ou a perda de habitats para espécies da flora herbácea-subarbustiva.

5. Conclusão

Os resultados que emergiram deste estudo, em parte condizem com a hipótese proposta. Eles revelaram que os fatores ambientais que parecem influenciar mais a distribuição de

espécies da flora herbáceo-subarbusiva do Cerrado vinculam-se as variáveis climáticas relacionadas com a estacionalidade e a disponibilidade de carbono orgânico no solo. Essas variáveis podem interferir na disponibilidade de água para as plantas no ambiente. Também indicam que os fatores ambientais importantes para as comunidades dessa flora não podem ser isolados dos fatores espaciais. Mas essa interpretação merece ressalvas porque as variáveis ambientais não facilmente mensuráveis e as espécies respondem de diferentes formas a essas variáveis, permitindo algumas generalizações. A grande extensão do bioma proporciona uma alta heterogeneidade topográfica, climática e edáfica que pode ter forte influência na estruturação de suas comunidades em escala espacial ampla. Essa heterogeneidade proporciona a variedade de habitats, que podem ser colonizados por espécies com diferentes estratégias de colonização e exploração do ambiente refletido em um padrão de distribuição espacial disperso e alta diversidade para a flora herbáceo-subarbusiva.

6. Referências Bibliográficas

Aleixo A (1999) Effects of Selective Logging on a Bird Community in the Brazilian Atlantic Forest. *Condor* 101:537–548. <https://doi.org/10.2307/1370183>

Alho CJR (2005) Desafios para a conservação do Cerrado, em face das atuais tendências de uso e ocupação. In: Scariot, A.; Sousa-Silva, J.C.; Felfili, J.M. (Org.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 367–381

Amaral AG, Munhoz CBR, Eugênio CUO, Felfili JM (2013) Vascular flora in dry-shrub and wet grassland Cerrado seven years after a fire, Federal District, Brazil. *Check List* 9:487–503. <https://doi.org/10.15560/9.3.487>

Amaral AG, Munhoz CBR, Walter BMT, et al (2017) Richness pattern and phytogeography of the Cerrado herb–shrub flora and implications for conservation. *J Veg Sci* 28:848–858. <https://doi.org/10.1111/jvs.12541>

Araújo GM, Amaral AF, Bruna EM, Vasconcelos HL (2013) Fire drives the reproductive responses of herbaceous plants in a Neotropical swamp. *Plant Ecol.* 214:1479–1484

Araújo GM, Barbosa AAA, Arantes AA, Amaral AF (2002) Composição florística de veredas no Município de Uberlândia, MG. *Rev Bras Botânica* 25:475–493. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042002012000012>

Assunção VA, Guglieri-Caporal A, Sartori ÂLB (2011) Florística do estrato herbáceo de um remanescente de cerrado em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Hoehnea* 38:281–288. <https://doi.org/10.1590/s2236-89062011000200008>

Baltzer JL, Davies SJ (2012) Rainfall seasonality and pest pressure as determinants of tropical tree species' distributions. *Ecol Evol* 2:2682–2694. <https://doi.org/10.1002/ece3.383>

Baltzer JL, Davies SJ, Bunyavejchewin S, Noor NSM (2008) The role of desiccation tolerance in determining tree species distributions along the Malay-Thai Peninsula. *Funct Ecol* 22:221–231. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01374.x>

Barros JD de S (2013) Contribuições da Matéria Orgânica do Solo para Mitigar as Emissões Agrícolas de Gases de Efeito Estufa. *Polêmica* 12:341–351

Batalha MA, Cianciaruso M V., Silva IA, Delitti WB (2005) Hyperseasonal cerrado, a new Brazilian vegetation form. *Braz J Biol* 65:735–738. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842005000400021>

Batalha MA, Mantovani W (2001) Floristic composition of the cerrado in the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, southeastern Brazil). *Acta Bot Brasilica* 15:289–304. <https://doi.org/10.1590/s0102-33062001000300001>

Bell G (2001) Neutral macroecology. *Science* (80-.). 293:2413–2418

Bell G, Lechowicz MJ, Appenzeller A, et al (1993) The spatial structure of the physical environment. Springer-Verlag

BFG BFG (2018) Brazilian flora 2020: Innovation and collaboration to meet target 1 of the global strategy for plant conservation (GSPC). *Rodriguesia* 69:1513–1527. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869402>

BFG BFG (2015) Growing knowledge: An overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguesia* 66:1085–1113. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>

Bitencourt C, Rapini A (2013) Centres of endemism in the espinhaço range: Identifying cradles and museums of asclepiadoideae (apocynaceae). *Syst Biodivers* 11:525–536. <https://doi.org/10.1080/14772000.2013.865681>

Bivand R (2013) Package ‘spdep’: spatial dependence: weighting schemes, statistics and models. R package version 0.5–56

Borghetti F, Barbosa E, Ribeiro L, et al (2019) South American Savannas. In: Scogings PF, Sankaran M (orgs) *Savanna Woody Plants and Large Herbivores*, First. John Wiley & Sons, Ltd, p 77–122

Borghetti JR, Silva WLC, Nocko HR, et al (2017) Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, Brasília

Botrel RT, Oliveira-Filho AT, Rodrigues LA, Curi N (2002) Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. *Rev Bras Botânica* 25:195–213. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042002000200008>

Bueno ML, Dexter KG, Pennington RT, et al (2018a) The environmental triangle of the Cerrado Domain: Ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas. *J Ecol* 106:2109–2120. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12969>

Bueno ML, Neves DR, Oliveira Filho AT, et al (2013a) A study in an area of transition between seasonally dry tropical forest and mesotrophic cerradão, in Mato Grosso do Sul, southwestern Brazil. *Edinburgh J Bot* 70:469–486. <https://doi.org/10.1017/S0960428613000164>

Bueno ML, Neves DRM, Souza AF, et al (2013b) Influence of edaphic factors on the floristic composition of an area of cerradão in the Brazilian central-west. *Acta Bot Brasilica* 27:445–455. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000200017>

Bueno ML, Oliveira-Filho AT de, Pontara V, et al (2018b) Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. *Iheringia - Ser Bot* 73:53–64. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s53>

Bueno ML, Pennington RT, Dexter KG, et al (2017a) Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. *Ecography (Cop)* 40:403–414. <https://doi.org/10.1111/ecog.01860>

Bueno ML, Rezende VL, Pontara V, de Oliveira-Filho AT (2017b) Floristic distributional patterns in a diverse ecotonal area in South America. *Plant Ecol* 218:1171–1186. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0759-1>

Bustamante M, Nardoto G, Pinto A, et al (2012a) Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian J Biol* 72:655–671. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400005>

Bustamante MMC, de Brito DQ, Kozovits AR, et al (2012b) Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). *Plant Ecol* 213:795–808. <https://doi.org/10.1007/s11258-012-0042-4>

Castro AAJF, Martins FR (1999) Cerrados do Brasil e do Nordeste: Caracterização, Área de Ocupação e Considerações sobre a sua Fitodiversidade. *Pesqui em Foco* 7:147–178

Castro EA de, Kauffman JB (1998) Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: A vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *J Trop Ecol* 14:263–283. <https://doi.org/10.1017/S0266467498000212>

Chagas C da S, Fontana A, de Carvalho Junior W, de Caires SM (2013) Atributos topográficos na diferenciação de argissolos. *Rev Bras Cienc do Solo* 37:1441–1453. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600002>

Chao A, Chiu C-H, Jost L (2016) Statistical challenges of evaluating diversity patterns across environmental gradients in mega-diverse communities. *J Veg Sci* 27:437–438. <https://doi.org/10.1111/jvs.12420>

Cienciaruso MV, Antônio Batalha M, Aurélio Da Silva I (2005) Seasonal variation of a hyperseasonal cerrado in Emas National Park, central Brazil. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants* 200:345–353. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2005.02.001>

Cienciaruso M V., Batalha MA (2008) A year in a Cerrado wet grassland: A non-seasonal island in a seasonal savanna environment. *Brazilian J Biol* 68:495–501. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000300005>

Collatz GJ, Berry JA, Clark JS (1998) Effects of climate and atmospheric CO₂ partial pressure on the global distribution of C₄ grasses: Present, past, and future. *Oecologia* 114:441–454. <https://doi.org/10.1007/s004420050468>

Conner RN, Dickson JG (1997) Relationships between bird communities and forest age, structure, species composition and fragmentation in the West Gulf Coastal Plain. *Texas J Sci* 49:123–138

Costa FRC, Magnusson WE, Luizao RC (2005) Mesoscale distribution patterns of Amazonian understorey herbs in relation to topography, soil and watersheds. *J Ecol* 93:863–878. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01020.x>

Coutinho LM (2002) O bioma do cerrado. In: Aldo Luiz Klein (org) *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. Editora UNESP, São Paulo, p 77–91

Coutinho LM (2006) O conceito de bioma. *Acta Bot. Brasilica* 20:13–23

Crawley MJ, Harral JE (2001) Scale dependence in plant biodiversity. *Science* (80-) 291:864–868. <https://doi.org/10.1126/science.291.5505.864>

Crist TO, Pradhan-Devare S V., Summerville KS (2006) Spatial variation in insect community and species responses to habitat loss and plant community composition. *Oecologia* 147:510–521. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0275-1>

Damasco G, Fontes C, Françoso R, Haidar R (2018) The Cerrado Biome: A Forgotten Biodiversity Hotspot. *Front Young Minds* 6:1–6. <https://doi.org/10.3389/frym.2018.00022>

Dantas V de L, Batalha MA (2011) Vegetation structure: Fine scale relationships with soil in a cerrado site. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants* 206:341–346. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2010.11.003>

de Mélo MA, Budke JC, Henke-Oliveira C (2013) Relationships between structure of the tree component and environmental variables in a subtropical seasonal forest in the upper Uruguay River valley, Brazil. *Acta Bot Brasilica* 27:751–760. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000400015>

de Oliveira Xavier R, Leite MB, Dexter K, da Silva Matos DM (2019) Differential effects of soil waterlogging on herbaceous and woody plant communities in a Neotropical savanna. *Oecologia* 190:471–483. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04423-y>

Diniz-Filho JAF, Siqueira T, Padial AA, et al (2012) Spatial autocorrelation analysis allows disentangling the balance between neutral and niche processes in metacommunities. *Oikos* 121:201–210. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19563.x>

Dray S (2010) spacemakeR: spatial modelling. R package version 0.0–5/r101

Dray S, Legendre P, Blanchet FG (2009) Packfor: Forward Selection with Permutation (Canoco p.46) (R package version 0.0–7/r58)

Dray S, Péliissier R, Couteron P, et al (2012) Community ecology in the age of multivariate multiscale spatial analysis. *Ecol Monogr* 82:257–275. <https://doi.org/10.1890/11-1183.1>

Durigan G (2006) Observations on the Southern Cerrado and their Relationship with the Core Area. In: Pennington RT, Lewis GP, Ratter JA (orgs) *Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests Plant Diversity, Biogeography, and Conservation*. CRC Press Inc., p 67–77

Durigan G (2013) Reflexões sobre a restauração ecológica em regiões do Cerrado. In: Barbosa LM (org) *Políticas Públicas para a Restauração Ecológica e Conservação da Biodiversidade*. Instituto de Botânica - SMA, São Paulo, p 33–37

Durigan G, Ratter JA (2006) Successional changes in cerrado and cerrado/forest ecotonal vegetation in western São Paulo State, Brazil, 1962-2000. *Edinburgh J Bot* 63:119–130. <https://doi.org/10.1017/S0960428606000357>

Eisenlohr P V., Alves LF, Bernacci LC, et al (2013) Disturbances, elevation, topography and spatial proximity drive vegetation patterns along an altitudinal gradient of a top biodiversity hotspot. *Biodivers Conserv* 22:2767–2783. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0553-x>

Eiten G (1972) The cerrado vegetation of Brazil. *Bot Rev* 38:201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>

Esquivel-Muelbert A, Baker TR, Dexter KG, et al (2017) Seasonal drought limits tree species across the Neotropics. *Ecography* (Cop) 40:618–629. <https://doi.org/10.1111/ecog.01904>

ESRI (2011) ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Eugênio CUO, Munhoz CBR, e Felfili JM (2011) Dinâmica temporal do estrato herbáceo-arbustivo de uma área de campo limpo úmido em alto paraíso de goiás, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 25:497–507. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200025>

Felfili JM, Silva-Júnior MC (2005) Diversidade alfa e beta no cerrado sensu stricto, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (orgs) *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 141–154

Felfili MC, Felfili JM (2001) Diversidade alfa e beta no cerrado Sensu Stricto da chapada pratinha, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 15:243–254. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000200010>

Ferreira JN, Bustamante MC da M, Davidson EA (2009) Linking woody species diversity with plant available water at a landscape scale in a Brazilian savanna. *J Veg Sci* 20:826–835. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01076.x>

Filgueiras T de S (2002) Herbaceous Plant Communities. In: Oliveira PS, Marquis RJ (orgs) *The Cerrados of Brazil - Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 1a. Columbia University Press, New York, p 121–139

Fortin MJ, Keitt TH, Maurer BA, et al (2005) Species' geographic ranges and distributional limits: Pattern analysis and statistical issues. *Oikos* 108:7–17. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13146.x>

Forzza RC, Leitman PM, Costa A, et al (2010) Catálogo de plantas e fungos do Brasil. Andrea Jakobsson Estúdio : Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Françoso RD (2014) Padrões biogeográficos e composição das comunidades arbóreas do Cerrado brasileiro. Tese de doutorado. Universidade de Brasília

Françoso RD, Haidar RF, Machado RB (2016) Tree species of South America central savanna: Endemism, marginal areas and the relationship with other biomes. *Acta Bot Brasilica* 30:78–86. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0244>

Furley PA, Ratter JA (1988) Soil Resources and Plant Communities of the Central Brazilian Cerrado and Their Development. *J Biogeogr* 15:97. <https://doi.org/10.2307/2845050>

Gasper AL de, Eisenlohr P V., Salino A (2015) Climate-related variables and geographic distance affect fern species composition across a vegetation gradient in a shrinking hotspot. *Plant Ecol Divers* 8:25–35. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.843604>

GBIF Global Biodiversity Information Facility. In: Biodivers. Occur. data Publ. <http://gbif.sibbr.gov.br>. Accessed 8 nov 2018

Geiger EL, Gotsch SG, Damasco G, et al (2011) Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration under fire suppression in a Brazilian savanna. *J Veg Sci* 22:312–321. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01252.x>

Giulietti AM, Harley RM, Queiroz LP de, et al (2005) Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. 1:52–61

Goodland RJ (1979) Análise ecológica da vegetação do cerrado. *Ecol. do Cerrado* 61–171

Gottsberger G, Silberbauer-Gottsberger I (2009) Tropical Savannas-Introduction. In: Del Claro K, Oliveira PS, Rico-Gray V (orgs) *Tropical Biology and Conservation Management - Savannah Ecosystems*. Eolss Publishers Co. Ltd., Oxford, UK, p 341–380

Hattersley PW (1983) The distribution of C3 and C4 grasses in Australia in relation to climate. *Oecologia* 57:113–128. <https://doi.org/10.1007/BF00379569>

Heringer EP, Barroso GM, Rizzo JA, Rizzini CT (1977) Simpósio sobre o cerrado base para a utilização agropecuária. In: Ferri MG (org) *A flora do Cerrado*. Editora da Universidade de São Paulo & Editora Itatiaia, São Paulo, p 211–232

IBGE (2004) Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. In: IBGE - Inst. Bras. Geogr. e Estatística. <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Accessed 18 dez 2019.

IUCN (2020) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3. <https://www.iucnredlist.org/>. Accessed 20 jan 2020

Jones MM, Tuomisto H, Borcard D, et al (2008) Explaining variation in tropical plant community composition: Influence of environmental and spatial data quality. *Oecologia* 155:593–604. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0923-8>

Jones MM, Tuomisto H, Clark DB, Olivas P (2006) Effects of mesoscale environmental heterogeneity and dispersal limitation on floristic variation in rain forest ferns. *J Ecol* 94:181–195. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01071.x>

Junior BHM, Haridasan M (2005) Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 19:913–926. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400026>

Karst J, Gilbert B, Lechowicz MJ (2005) Fern community assembly: The roles of chance and the environment at local and intermediate scales. *Ecology* 86:2473–2486. <https://doi.org/10.1890/04-1420>

Kauffman JB, Cummings DL, Ward DE (1994) Relationships of Fire, Biomass and Nutrient Dynamics along a Vegetation Gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of ecology* 82(3):519–531. doi: 10.2307/2261261

Klink CA, Machado RB (2005) A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1:147–155

Konvicka M, Fric Z, Benes J (2006) Butterfly extinctions in European states: Do socioeconomic conditions matter more than physical geography? *Glob Ecol Biogeogr* 15:82–92. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00188.x>

Lahsen M, Bustamante MMC, Dalla-Nora EL (2016) Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. *Environment* 58:4–15. <https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1229537>

Legendre P, Borcard D, Roberts DW (2012) Variation partitioning involving orthogonal spatial eigenfunction submodels. *Ecology* 93:1234–1240. <https://doi.org/10.1890/11-2028.1>

Legendre P, Mi X, Ren H, et al (2009) Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China. *Ecology* 90:663–674. <https://doi.org/10.1890/07-1880.1>

Lehmann CER, Anderson TM, Sankaran M, et al (2014) Savanna vegetation-fire-climate relationships differ among continents. *Science* 343(6170):548–552. <https://doi.org/10.1126/science.1247355>

Lewis RJ, Pakeman RJ, Marrs RH (2014) Identifying the multi-scale spatial structure of plant community determinants of an important national resource. *J Veg Sci* 25:184–197. <https://doi.org/10.1111/jvs.12071>

Lima JEFW, da Silva EM, Oliveira-Filho EC, et al (2011) The relevance of the Cerrado's water resources to the Brazilian development. In: *Proceedings of the XIVth IWRA World Water Congress*. IWRA, Montpellier. 1–11

Lindoso G da S, Felfili JM, Costa JM da, Castro AAJF (2009) Diversidade e estrutura do cerrado sensu stricto sobre areia (Neossolo Quartzarênico) na Chapada Grande Meridional, Piauí. *Rev Biol Neotrop* 6:45–61

Luizao RCC, Luizao FJ, Paiva RQ, et al (2004) Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Glob Chang Biol* 10:592–600. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00757.x>

Maçaneiro JP de, Oliveira LZ, Seubert RC, et al (2016) More than environmental control at local scales: Do spatial processes play an important role in floristic variation in

subtropical forests? *Acta Bot Brasilica* 30:183–192. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0294>

Macarthur R, Recher H, Cody M (1966) On the relation between habitat selection and species diversity. *Am Nat* 100:319–332

Mantovani W, Martins FR (1993) Florística do cerrado na Reserva Biológica de Moji Guaçu, SP. *Acta Bot Brasilica* 7:33–60. <https://doi.org/10.1590/s0102-33061993000100003>

Marimon BS, De E, Duarte TG, et al (2006) Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado-Amazonian forest ecotone. *Edinburgh J Bot* 63:323–341. <https://doi.org/10.1017/S0960428606000576>

Marques MCM, Swaine MD, Liebsch D (2011) Diversity distribution and floristic differentiation of the coastal lowland vegetation: Implications for the conservation of the Brazilian Atlantic Forest. *Biodivers Conserv* 20:153–168. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9952-4>

Martinelli G, Messina T, Filho LS (2014) Livro Vermelho da Flora do Brasil - Plantas Raras do Cerrado, 1o edn. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro-CNCFlora, Rio de Janeiro

Martins TD, Vieira BC (2015) Os Campos Gerais do Paraná e a contribuição da geomorfologia climática. *Geogr Dep Univ Sao Paulo* 28:221. <https://doi.org/10.11606/rdg.v28i0.543>

Medina E, Silva JF (1990) Savannas of Northern South America: A Steady State Regulated by Water-Fire Interactions on a Background of Low Nutrient Availability. *J Biogeogr* 17:403. <https://doi.org/10.2307/2845370>

Meirelles ML, Oliveira RC De, Vivaldi LJ, et al (2002) Espécies do Estrato Herbáceo e Profundidade do Lençol Freático em Áreas Úmidas do Cerrado. *Embrapa Cerrados, Planaltina*

Mendes M, Silva Júnior M, Castro A, et al (2014) Temporal change in species and functional plant traits in the moist grassland on the Sete Cidades National Park, Piauí, Brazil. *Brazilian J Biol* 74:111–123. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.18812>

Mendes MRA, Munhoz CBR, Silva Júnior MC, Castro AAJF (2012) Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. *Rodriguesia* 63:971–984. <https://doi.org/10.1590/s2175-78602012000400014>

Mendonça RC de, Felfili JM, Walter BMT, et al (2008) Flora Vascular do Bioma Cerrado – Checklist com 12.356 espécies. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (orgs) *Cerrado: ecologia e flora*. Vol. 2, 1a. Embrapa Cerrado, Brasília, p 222–1279

Mendonça RC, Felfili JM, Fagg CW, Silva MA (2001) Análise florística da Chapada do Espigão Mestre do São Francisco. p 74–79

Miranda EE de, Magalhães LA, Carvalho CA de (2014) Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA - Nota Técnica. Embrapa, Campinas, SP

Mittermeier RA, Turner WR, Larsen FW, et al (2011) Global Biodiversity Conservation: The Critical Role of Hotspots. In: Biodiversity Hotspots. Springer Berlin Heidelberg, p 3–22

MMA (2019) Ministério do Meio Ambiente. <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Accessed 30 set 2019

Mogni VY, Oakley LJ, Prado DE (2015) The distribution of woody legumes in neotropical dry forests: The pleistocene arc theory 20 years on. *Edinburgh J Bot* 72:35–60. <https://doi.org/10.1017/S0960428614000298>

Munhoz CBR, Felfili JM (2006a) Floristics of the herbaceous and subshrub layer of a moist grassland in the cerrado biosphere reserve (Alto Paraíso de Goiás), Brazil. *Edinburgh J Bot* 63:343–354. <https://doi.org/10.1017/S0960428606000539>

Munhoz CBR, Felfili JM (2006b) Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma área de campo sujo no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 20:671–685. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000300017>

Munhoz CBR, Felfili JM (2005) Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 19:979–988

Munhoz CBR, Felfili JM (2007a) Reproductive phenology of an herbaceous-subshrub layer of a Savannah (Campo Sujo) in the Cerrado Biosphere Reserve I, Brazil. *Brazilian J Biol* 67:299–307. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000200015>

Munhoz CBR, Felfili JM (2007b) Florística do estrato herbáceo-subarbustivo de um campo limpo úmido em Brasília, Brasil. *Biota Neotrop* 7:205–215

Munhoz CBR, Felfili JM, Rodrigues C (2008) Species-environment relationship in the herb-subshrub layer of a moist Savanna site, Federal District, Brazil. *Brazilian J Biol* 68:25–35. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000100005>

Myers N, Mittermeyer RA, Mittermeyer CG, et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Neves DM, Dexter KG, Pennington RT, et al (2015) Environmental and historical controls of floristic composition across the South American Dry Diagonal. *J Biogeogr* 42:1566–1576. <https://doi.org/10.1111/jbi.12529>

Oakley LJ, Prado DE (2011) El dominio de los bosques secos estacionales neotropicales y la presencia del arco pleitoceno en la República del Paraguay. *Rojasiana* 10:55–75

Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, et al (2016) *vegan: community ecology package*. R package version 2.0–3.

Oliveira-Filho AT, Budke JC, Jarenkow JA, et al (2014) Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *J Plant Ecol* 8:242–260. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtt058>

Oliveira-Filho AT de, Ratter JA (2002) Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In: Oliveira PS, Marquis RJ (orgs) *The Cerrados of Brazil - Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 1a. Columbia University Press, New York, p 91–120

Pausas JG (2015) Alternative fire-driven vegetation states. *J Veg Sci* 26:4–6. <https://doi.org/10.1111/jvs.12237>

Pellegrini AFA, Franco AC, Hoffmann WA (2016) Shifts in functional traits elevate risk of fire-driven tree dieback in tropical savanna and forest biomes. *Glob Chang Biol* 22:1235–1243. <https://doi.org/10.1111/gcb.13110>

Pinheiro E da S, Durigan G (2009) Spatial and temporal dynamics (1962–2006) of Cerrado vegetation types in a protected area, southeastern Brazil. *Rev Bras Bot* 32:441–454. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042009000300005>

Poethke HJ, Hovestadt T, Mitesser O (2003) Local extinction and the evolution of dispersal rates: Causes and correlations. *Am Nat* 161:631–640. <https://doi.org/10.1086/368224>

Polhill RM, Raven PH, Stirton CH (1981) Evolution and Systematics of the Leguminosae. In: Polhill RM, Raven PH (orgs) *Advances in Legume Systematics*. Kew Royal Botanic Gardens, p 1–26

R Development Core Team R (2018) *R: A language and environment for statistical computing*

Ramos MVV, Curi N, Motta PEF da, et al (2006) Veredas do triângulo mineiro: solos, água e uso. *Ciência e Agrotecnologia* 30:283–293. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542006000200014>

Rangel TFLVB, Bini LM, Diniz-Filho JAF, et al (2007) Human development and biodiversity conservation in Brazilian Cerrado. *Appl Geogr* 27:14–27. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2006.09.009>

Rapini A, Andrade MJG, Giulietti AM, et al (2009) Introdução. In: Giulietti AM, Rapini A, Andrade MJG, et al. (orgs) *Plantas raras do Brasil*. Conservação Internacional, Belo Horizonte, p 23–35

Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S, Pirani JR (2008) A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4:15–23

Ratter JA, Bridgewater S, Ribeiro JF (2003) Analysis of the Floristic Composition of the Brazilian Cerrado Vegetation III: Comparison of the Woody Vegetation of 376 Areas. *Edinburgh J Bot* 60:57–109. <https://doi.org/10.1017/s0960428603000064>

REFLORA s.d. Lista de Espécies da Flora do Brasil. In: Jard. Botânico do Rio Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Accessed 13 nov 2017

Rezende VL, Bueno ML, de Oliveira-Filho AT (2016) Patterns of tree composition in the southern cone of South America and its relevance to the biogeographic regionalization. *Plant Ecol* 217:97–110. <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0562-9>

Rezende VL, Bueno ML, Eisenlohr P V., Oliveira-Filho AT (2018) Patterns of tree species variation across southern South America are shaped by environmental factors and historical processes. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 34:10–16. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2018.07.002>

Ribeiro JF, Walter BMT (2008) As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (orgs) *Cerrado: ecologia e flora*. Vol. 1. Embrapa Cerrados, Brasília, p 152–212

Rocha EC, Brito D, Silva PM e, et al (2018) Effects of habitat fragmentation on the persistence of medium and large mammal species in the Brazilian Savanna of Goiás State. *Biota Neotrop* 18:20170483. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2017-0483>

Rosenzweig ML (1995) *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press

Rossatto DR (2014) Spatial patterns of species richness and phylogenetic diversity of woody plants in the neotropical savannas of Brazil. *Rev Bras Bot* 37:283–292. <https://doi.org/10.1007/s40415-014-0070-5>

Rossatto DR, Toniato MTZ, Durigan G (2008) Flora fanerogâmica não-arbórea do cerrado na Estação Ecológica de Assis, Estado de São Paulo. *Rev Bras Bot* 31:409–424

Sano EE, Rosa R, Brito JLS, et al (2010) Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Env Monit Assess* 166:113–124. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>

Sano EE, Rosa R, Scaramuzza CA de M, et al (2019) Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. *Pesqui Agropecu Bras* 54. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00138>

Santos FF de M, Munhoz CBR (2014) Diversidade de espécies herbáceo-arbustivas e zonação florística em uma vereda no Distrito Federal. *Heringeriana* 6:21–27

Sarmiento G, Monasterio M (1983) Life forms and phenology. In: Bourliere F (org) *Ecosystems of the World XIII. Tropical Savannas*. Elsevier, Amsterdam, p 79–108

Sawyer D, Lahsen M (2016) Civil society and environmental change in Brazil's Cerrado. *Environ. Sci. Policy Sustain. Dev.* 58:16–23

Sawyer D, Mesquita B, Coutinho B, et al (2017) *Ecosystem Profile Cerrado Biodiversity Hotspot*

Scarano FR, Ceotto P, Medeiros R, Mittermeier RA (2014) O bioma Cerrado: conservação e ameaças. In: Jakobsson A (org) *Livro Vermelho da flora do Brasil - Plantas raras do Cerrado*. CNCFLora, p 21–24

Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (2005) Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília

Schrire BD, Lavin MATT, Lewis GP (2005) Global distribution patterns of the Leguminosae: insights from recent phylogenies. *Biol Skr* 55:375–422

Silva IR da, Mendonça E de S. (2007) Matéria Orgânica do Solo. In: Novais RF de, Alvarez VH V., Barros N de, et al. (orgs) *Fertilidade do Solo*, 1o edn. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, p 275–374

Silva IA, Batalha MA (2008) Species convergence into life-forms in a hyperseasonal cerrado in central Brazil. *Braz J Biol* 68:329–39. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842008000200014>

Silva IA, Batalha MA (2010) Woody plant species co-occurrence in Brazilian savannas under different fire frequencies. *Acta Oecologica* 36:85–91. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2009.10.004>

Silva IA, Batalha MA (2009) Coocorência de espécies de Cerrado sob diferentes frequências de queimadas. *An. do III Congr. Lat. Am. Ecol.* 1–4

Simberloff D, Abele LG (1982) *Refuge Design and Island Biogeographic Theory: Effects of Fragmentation* Author (s): Daniel Simberloff and Lawrence G. Abele Source: *The American Naturalist*, Vol. 120, No. 1 (Jul., 1982), pp. 41-50 Published by: The University of Chicago Press. *Am Nat* 120:41–50

Simon MF, Grether R, De Queiroz LP, et al (2009) Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106:20359–20364. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106>

Simon MF, Pennington T (2012) Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. *Int. J. Plant Sci.* 173:711–723

Sitzia T, Dainese M, McCollin D (2014) Environmental factors interact with spatial processes to determine herbaceous species richness in woody field margins. *Plant Ecol* 215:1323–1335. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0390-3>

Smith TB, Kark S, Schneider CJ, et al (2001) Biodiversity hotspots and beyond: The need for preserving environmental transitions [1]. *Trends Ecol Evol* 16:431. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02201-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02201-7)

Spichiger R, Calenge C, Bise B (2004) Geographical zonation in the Neotropics of tree species characteristic of the Paraguay-Paraná Basin. *J Biogeogr* 31:1489–1501

Staver AC, Archibald S, Levin SA (2011) The global extent and determinants of savanna and forest as alternative biome states. *Science* (80-) 334:230–232. <https://doi.org/10.1126/science.1210465>

Strassburg BBN, Brooks T, Feltran-Barbieri R, et al (2017) Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nat Ecol Evol* 1:1–3. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

Tamme R, Hiiesalu I, Laanisto L, et al (2010) Environmental heterogeneity, species diversity and co-existence at different spatial scales. *J Veg Sci* 21:796–801. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01185.x>

Tannus JLS (2007) Estudo da vegetação dos campos úmidos de Cerrado: aspectos florísticos e ecológicos. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 138f.

Tannus JLS, Assis MA (2004) Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de cerrado, Itirapina-SP, Brasil. *Rev Bras Bot* 27:489–506

Thuiller W, F. Midgley G, Rougeti M, M. Cowling R (2006) Predicting patterns of plant species richness in megadiverse South Africa. *Ecography (Cop)* 29:733–744. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04674.x>

TNRS The Taxonomic Name Resolution Service. In: iPlant Collab. Version 4.0. from: <http://tnrs.iplantcollaborative.org>. Accessed 9 abr 2019

Vasconcelos T da S (2014) Tracking climatically suitable areas for an endemic Cerrado snake under climate change. *Nat a Conserv* 12:47–52. <https://doi.org/10.4322/natcon.2014.009>

Vieira RRS, Pressey RL, Loyola R (2019) The residual nature of protected areas in Brazil. *Biol Conserv* 233:152–161. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.010>

Wittmer MHOM, Auerswald K, Bai Y, et al (2010) Changes in the abundance of C3/C4 species of Inner Mongolia grassland: Evidence from isotopic composition of soil and vegetation. *Glob Chang Biol* 16:605–616. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02033.x>

Yang H, Flower RJ, Battarbee RW (2009) Influence of environmental and spatial variables on the distribution of surface sediment diatoms in an upland loch, Scotland. *Acta Bot Croat* 68:367–380

CAPÍTULO II

Centros de diversidade para conservação da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado

Resumo

O Cerrado é o bioma brasileiro que mais perdeu habitats nos últimos anos. As unidades de conservação (UCs) representam uma estratégia básica para a conservação, mas a seleção de áreas prioritárias com base na diversidade taxonômica reflete apenas uma dimensão da diversidade, enquanto o planejamento apoiado em diversidade filogenética (PD) mostra-se mais representativo e promissor. Foi elaborado um banco de dados com 4.713 espécies herbáceo-subarbustivas georreferenciadas para calcular cinco métricas de diversidade: Riqueza em espécies (SR); PD; tamanho do efeito padronizado da PD (ses.PD); distinção evolutiva (ED) e distinção evolutiva ponderada biogeograficamente (BED). Procedeu-se a distribuição espacial dessas métricas pela extensão territorial do bioma para identificar os grids *hotspots*, áreas com alta diversidade e indicar áreas prioritárias para conservar a flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado. Os padrões de SR, PD e BED foram similares. Já o ses.PD e o ED tiveram padrões dispersos e diferentes entre si. A maior concentração de grids *hotspots* ocorreu nas áreas centrais do bioma, onde predomina o cerrado *stricto sensu* e alguns pelas áreas marginais em contato com outros biomas. A quantidade de espécies sem ocorrência em unidades de conservação de proteção integral (UCPIs) e, o percentual de ameaçadas e não avaliadas foram maiores do que com ocorrência em UCPIs. Os resultados indicam grande diversidade de linhagens, supostamente com uma gama de traços filogenéticos que permitiu a essas espécies explorar, permanecer e propagar-se em diferentes ambientes. As áreas com sobreposição de grids *hotspots*, fora das UCPIs e nas áreas de estabilidade climática, merecem especial atenção para preservar essa flora.

Palavras-chave: Riqueza; Distinção evolutiva; Diversidade filogenética; *Hotspot*; Savana; Unidades de conservação

1. Introdução

O Cerrado possui a savana neotropical mais diversificada do mundo (Myers et al. 2000; Klink e Machado 2005) sua flora abriga mais de 12.100 espécies de plantas nativas (BFG 2018), das quais cerca de 44% são endêmicas (Myers et al. 2000; Scariot et al. 2005) e mais de 8.000 são herbáceas e/ou subarbustivas (REFLORA, [s.d.]). Essa flora é essencialmente heliófita e geralmente distribuída entre dois estratos, sendo um lenhoso (arbustivo-arbóreo) e o outro herbáceo (herbáceo-subarbustivo) (Coutinho 2002). Além disso, o Cerrado é classificado como um *hotspot* mundial de biodiversidade, devido ao elevado grau de ameaça, perda de habitat e de endemismos de espécies animais e vegetais (Myers et al. 2000; Alho 2005; Mittermeier et al. 2011). E já ocupou cerca de 24% do território brasileiro (IBGE 2004; INPE 2018) mas aproximadamente 50% da sua área total já foi desvegetada acarretando grande perda de habitats e biodiversidade (Françoso et al. 2015; Beuchle et al. 2015).

Infelizmente, a porcentagem de áreas protegidas (8%) está muito abaixo dos 17% recomendados pela 10ª Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD 2010) e as taxas de perda de vegetação continuam a aumentar (Soares-Filho et al. 2014). A conversão e a perda de habitat são apontadas como as principais causas de redução da biodiversidade no mundo (Dirzo e Raven 2003; Fahrig 2003; Barnosky et al. 2011) e melhorar as estratégias de conservação é crucial para minimizar a perda de espécies.

As unidades de conservação (UCs) constituem-se em estratégia importante e eficaz para a conservação pois a sua criação tem como objetivo central garantir a proteção da biodiversidade em todos os níveis (genes, espécies, funções e filogenias), além dos serviços ecossistêmicos associados e valores culturais (Dudley 2008). No entanto, há um consenso que as UCs existentes não são satisfatórias para assegurar a proteção da biodiversidade brasileira pois estão distribuídas e estudadas de modo proporcionalmente diferente (Oliveira et al. 2017; Fonseca e Venticinque 2018). De fato, as políticas de conservação brasileira priorizam os ecossistemas florestais em detrimento dos ecossistemas não florestais (Overbeck et al. 2015) e o Cerrado encontra-se pobremente protegido e negligenciado pelas políticas governamentais de conservação (Lahsen et al. 2016; Sawyer e Lahsen 2016; Oliveira et al. 2017; Strassburg et al. 2017).

Para proteger um *hotspot* e os seus recursos filogenéticos é essencial um planejamento para a conservação que inclua estudos ecológicos e genéticos (Heywood e Iriondo 2003),

visando desenvolver estratégias que integrem a história e o potencial evolutivo de suas espécies (Sgrò et al. 2011) e que possam ajudar a promover a resiliência e a manutenção dos processos ecossistêmicos das comunidades envolvidas (Reusch et al. 2005). Diante do tempo, recursos e esforço humano limitados alocados à conservação de espécies, um desafio crítico para gestores da biodiversidade é priorizar táxons e regiões para conservação (Sánchez-Cordero et al. 2005; Xu et al. 2017). Tradicionalmente, a identificação de áreas prioritárias globais é fundamentada em preditores como a riqueza, endemismo de espécies e vulnerabilidade (Hooper et al. 2005; Brooks et al. 2006; Jenkins et al. 2013). Embora importantes, esses preditores, concentram-se apenas em uma dimensão da diversidade; a diversidade taxonômica e, pode não ser a melhor estratégia para a conservação pois não reflete complementaridade (Hooper et al. 2005; Brum et al. 2017) levando a eleger regiões com composição de assembleias semelhantes com o risco de não proteger assembleias únicas (Kukkala e Moilanen 2013; Brown et al. 2015).

O planejamento da conservação apoiado em diversidade filogenética (*Phylogenetic Diversity* - PD) mostra-se mais representativo e promissor (Devictor et al. 2010; Guilhaumon et al. 2015; Thuiller et al. 2015; Brum et al. 2017), uma vez que captura a dimensão dos processos evolutivos responsáveis pelos padrões atuais de biodiversidade, não apenas com base na topologia das árvores filogenéticas, mas também no comprimento de seus ramos (Faith 1992). Pois ela parte da premissa que em comunidades onde as espécies são mais distintas filogeneticamente a PD será maior (Faith 1992). As análises baseadas em filogenias podem ajudar a esclarecer o papel relativo dos eventos evolutivos e ecológicos que atuam na montagem de comunidades por meio de diferentes processos e influencia a sua estrutura filogenética (Cavender-Bares et al. 2009). Assim, a composição em espécies da comunidade que observamos hoje é resultante dos eventos ecológicos e evolutivos experimentos por ela (Thompson et al. 2001; Brum et al. 2017) e não aleatória (Webb et al. 2002). Por considerar o grau de parentesco das espécies, a PD representa a diversidade de histórias evolutivas das espécies de uma comunidade. Sendo assim, a sua manutenção é importante para a conservação biológica (Purvis et al. 2000; Faith et al. 2004; Srivastava e Vellend 2005; Faith 2008; Winter et al. 2009), vital para o equilíbrio dos processos evolutivos (Faith et al. 2010; Srivastava et al. 2012) e dos processos ecossistêmicos (Cadotte et al. 2008, 2012; Cardinale et al. 2012). Cada vez mais, as diferentes métricas de diversidade estão sendo reconhecidas e, comparar essas

métricas, pode revelar as lacunas na conservação da biodiversidade, bem como as áreas prioritárias para a sua preservação (Tucker et al. 2012).

Estudos com essa abordagem estão sendo desenvolvidos no Cerrado com diversos grupos de animais, dentre os quais mamíferos (Carvalho et al. 2010), pássaros (Ribas et al. 2009), répteis (Guedes et al. 2018) e plantas, , neste caso priorizando a flora lenhosa (Batalha et al. 2011b, a; Cianciaruso et al. 2012, 2013; Rossatto 2014). Já para a flora herbácea não foram encontrados registros. Estima-se que no Cerrado o número de espécies herbáceas/subarbustivas seja sete maior que o número de espécies arbustivas/arbórea (Proporção 7:1) (BFG 2015). A riqueza dessa flora é registrada por vários autores (Mendonça et al. 2001, 2008; Munhoz e Felfili 2006; Assunção et al. 2011; BFG 2015; Amaral et al. 2017) assim como, sua importância para a composição das fitofisionomias, especialmente, das campestres e savânicas (Filgueiras 2002; Felfili e Silva-Júnior 2005; Munhoz e Felfili 2006; Ramos et al. 2006; Ribeiro e Walter 2008; Borghetti et al. 2019) e para os diversos processos ecológicos que envolvem essa flora (Sarmiento e Monasterio 1983; Meirelles et al. 2002; Munhoz e Felfili 2005, 2007; Eugênio et al. 2011; Bustamante et al. 2012; Mendes et al. 2012; Amaral et al. 2013; Mendes et al. 2014). Contudo, a flora do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado ainda é pouco estudada em relação a flora lenhosa (arbustiva/arbórea). Embora as informações já existentes sejam muito relevantes ainda há muitos aspectos a serem melhor esclarecidos, como por exemplo, a respeito da sua diversidade filogenética, já que a flora do Cerrado possui representantes de quase todos os principais clados de angiospermas (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006).

Com o intuito de preencher essa lacuna nosso objetivo foi identificar áreas com alto nível de diversidade filogenética para a flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado. Para tal, foi utilizado um banco de dados com espécies herbáceas e/ou subarbustivas georreferenciadas do bioma para: (i) calcular a riqueza em espécies (*Species Richness* - SR), a PD, o tamanho do efeito padronizado da PD (*Standardized Effect Size* - ses.PD), a distinção evolutiva (*Evolutionary distinctiveness* - ED) e a distinção evolutiva ponderada biogeograficamente (*Biogeographically weighted evolutionary distinctiveness* - BED); (ii) identificar os *hotspots* de diversidade, em diferentes dimensões, para essa fitodiversidade e (iii) indicar áreas prioritárias para a conservação da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado e que possam contribuir para a preservação das singularidades desse rico bioma. A hipótese testada é que a maior concentração de grids *hotspots* de diversidade seria encontrada nas áreas centrais do bioma e algumas regiões

nas áreas marginais próximas às faixas (ou zonas) de contato com outros biomas. Devido ao grupo aqui focado, essa inédita abordagem em macroescala tem o objetivo de contribuir para o conhecimento e conservação da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado.

2. Materiais e Métodos

2.1 *Área de Estudo*

O Cerrado possui a maior e mais diversificada savana neotropical com heterogênea geomorfologia, grande extensão territorial e uma estratégica localização central na América do Sul entre os grandes biomas florestais da Amazônia e Mata Atlântica e associado ao corredor seco da América do Sul entre a Caatinga e o Chaco (Figura 1-A), ocorrendo ampla variação térmica e edáfica (Eiten 1972; Furley e Ratter 1988; Rossatto 2014; Neves et al. 2015). Além dos fatores abióticos, as oscilações do Quaternário (Salgado-Labouriau et al. 1997) e o fogo (Simon et al. 2009; Silva e Batalha 2010; Simon e Pennington 2012; Dantas et al. 2013) são importantes influenciadores da ocorrência e da biodiversidade desse bioma (BFG 2015). A congruência dessas características contribui para uma variedade de habitats onde se estabelecem diferentes fitofisionomias (Felfili e Felfili 2001; Oliveira-Filho e Ratter 2002; Cianciaruso et al. 2005; Borghetti et al. 2019). Desta forma, o Cerrado é descrito como um mosaico vegetacional com a ocorrência de formações florestais, savânicas e campestres (Ribeiro e Walter 2008). Juntas as formações savânicas e campestres predominam na cobertura vegetal natural com cerca de 70% (Coutinho 2006; Sano et al. 2010). A flora nativa é essencialmente heliófita, adaptada à forte sazonalidade, à solos ácidos, bem drenados, pobres em nutrientes, ricos em alumínio (Felfili e Silva-Júnior 2005; Klink e Machado 2005) e, com um lençol freático profundo e permanente o que, em geral, não ocorre em outras savanas tropicais (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2009). Tipicamente, observa-se dois estratos florísticos, um lenhoso (árvores e arbustos) e outro herbáceo (ervas e subarbustos) (Coutinho 2002) esse último possui a maior riqueza florística do Cerrado (Mendonça et al. 2008; BFG 2015).

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo, Cerrado, Brasil e pontos de ocorrência de espécies herbáceo-subarbustivas do Cerrado

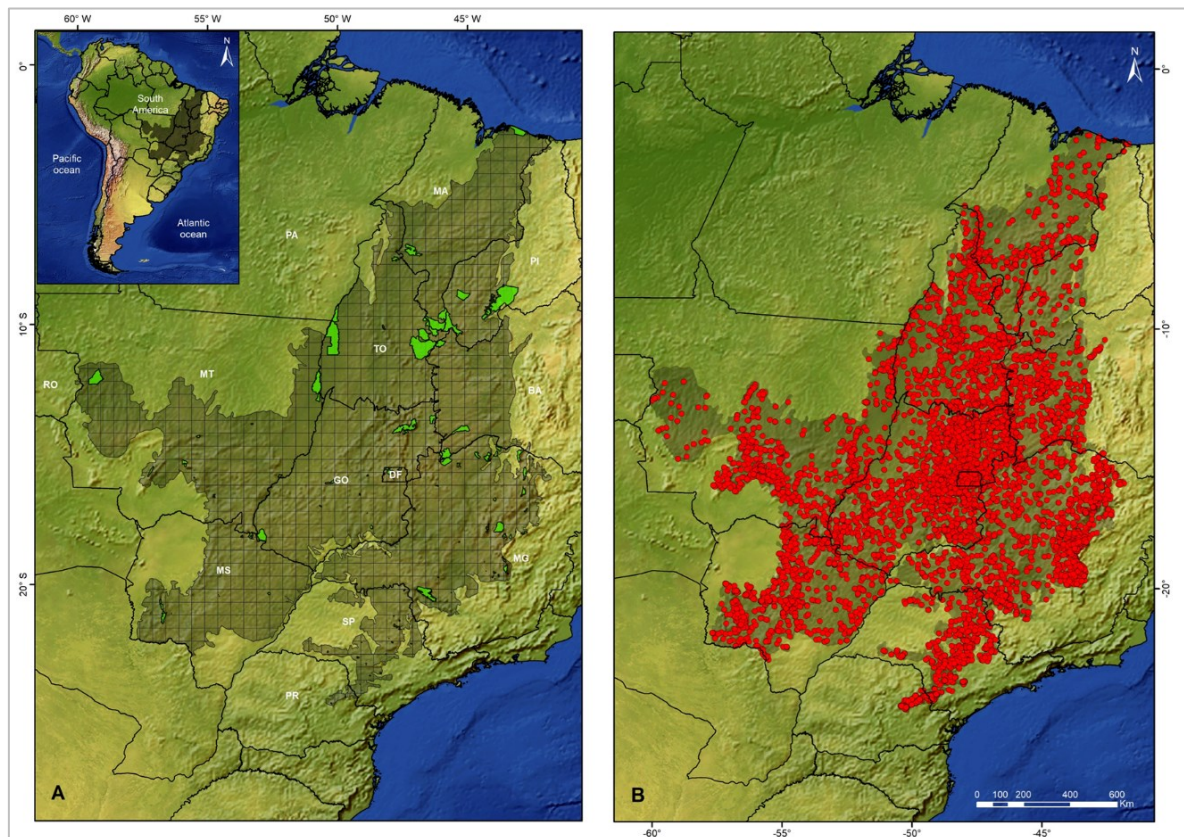


Figura 1. Localização geográfica do Cerrado, Brasil. **(A)** Localização geográfica do Cerrado e distribuição dos grids (50 km x 50 Km) usados para as análises, as manchas verdes correspondem a unidades de conservação de proteção integral; **(B)** distribuição dos pontos de ocorrências (círculos vermelhos) das espécies herbáceo-subarbustivas do Cerrado. Linhas pretas indicam os limites entre os estados brasileiros e o Distrito Federal.

Fonte: Aloirta W. Castilho Silva

2.2 Banco de Dados

Foi compilado um banco de dados com espécies herbáceo-subarbustivas do Cerrado. Primeiramente, realizou-se o levantamento das espécies a partir do *Checklist* Flora Vascular do Bioma Cerrado (Mendonça et al. 2008) e do banco de dados do projeto Flora do Brasil 2020, integrante do Programa REFLORA/CNPq (REFLORA, [s.d]). Todas as espécies com ocorrência no Cerrado e forma de vida classificada como erva, herbácea e/ou subarbustiva em uma das fontes anteriormente citadas foram incluídas, totalizando 8.565 espécies herbáceo-subarbustivas. De acordo com Heringer et al. (1977) as ervas ou herbáceas são plantas não-lenhosas anuais ou perenes e, as subarbustivas são plantas com sistema subterrâneo persistente

durante a estação seca e parte aérea com até 0,5 m na estação chuvosa. Na etapa seguinte, extraímos 196.032 registros de ocorrências de espécies para o bioma Cerrado no Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (GBIF) recobrindo toda a extensão do bioma, com um polígono, de acordo com o mapa do IBGE (IBGE 2004). Os registros de ocorrência duplicados foram eliminados e 67.139 registros de ocorrência foram mantidos (Figura 1-B). Comparamos a lista com espécies georreferenciadas com a lista de espécies herbáceo-subarbustivas e apenas aquelas presentes nas duas listas foram mantidas. Assim, foi obtida uma lista com 4.713 espécies de plantas vasculares herbáceas e subarbustivas do Cerrado georreferenciadas. Para evitar os efeitos dos ramos filogenéticos longos nas métricas de diversidade filogenética não incluímos samambaias e gimnospermas no banco de dados. Na sequência as divergências de sinonímia, nomenclatura e classificação das espécies em famílias botânicas foram resolvidas por meio da ferramenta *Taxonomic Name Resolution Service* v4.0 (TNRs).

2.3 Análise da Diversidade Evolutiva

Foi construída uma árvore filogenética que inclui o conjunto de espécies do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado com a abordagem da mega-tree no R package, com emprego do pacote V.PhyloMaker (Jin e Qian 2019). O V.PhyloMaker usa uma mega-tree que engloba 74.533 espécies de plantas vasculares e inclui todas as famílias de plantas (Jin e Qian 2019) com base no sistema de classificação das plantas com flores baseado em filogenia molecular, o APG IV (Chase et al. 2016). E, foi implementado com as três abordagens ou cenários diferentes para a adição de gêneros e espécies ausentes na mega-tree usados pelo S.PhyloMaker (Qian e Jin 2016). Foi usado o cenário 3, em que a adição de novo gênero ou espécies não incluída na mega-tree usa a mesma abordagem em Phylomatic e BLADJ (Webb et al. 2008), onde a adição é feita no meio ponto do ramo da família ou gênero, representando o ramo entre a família e o nó raiz do gênero e o nó basal (consulte Jin and Qian, 2019; Qian and Jin, 2016 para mais detalhes). Em toda extensão do bioma Cerrado geramos grids de 50 km x 50 km (2500 km²) com o software ArcGIS v.10 (ESRI 2011). Cada grid corresponde a uma amostra do pool de espécies do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado, ou seja, uma comunidade. Para cada um dos grid foram calculadas cinco métricas de diversidade: (i) a riqueza em espécies (SR), definida como a contagem total de espécies dentro do grid; (ii) a diversidade filogenética de

Faith (PD), definida como a soma total da história evolutiva de uma comunidade e calculada com base na presença e ausência de espécies (Faith 1992), a SR e PD; (iii) o tamanho do efeito padronizado da PD (ses.PD) (Webb 2000; Webb et al. 2002) que permite padronizar a riqueza desigual entre os grids e remover a influência da SR na PD, com base em um modelo nulo para cada grid (comunidade) (Swenson 2014; Coronado et al. 2015). As padronizações extraem aleatoriamente o mesmo número de espécies da filogenia e de espécies dentro do grid, repetindo 10.000 vezes, para cada aleatorização a diferença entre os valores observados e a média dos valores aleatórios é dividida pelo desvio padrão entre as aleatorizações (Webb et al. 2008); (iv) a distinção evolutiva (ED) (Isaac et al. 2007) que permite priorizar espécies de acordo com seu isolamento filogenético e capturar características raras importantes para os serviços ecossistêmicos (Edwards et al. 2017) e, (v) a distinção evolutiva biogeograficamente ponderada (BED), que possibilita identificar lugares onde a diversidade filogenética pode estar altamente concentrada e ponderar a diversidade em função do tamanho da faixa da distinção evolutiva (*sensu* Isaac et al., 2007). As espécies com maior raridade e alta ED obtêm maior peso (Rosauer et al. 2009; Cadotte e Davies 2010), pois são espécies geograficamente mais restritas e teoricamente mais susceptíveis a extinção do que os seus congêneres amplamente distribuídos (Gaston 2003; Jones et al. 2003). Assim, os locais com espécies estreitamente distribuídas apresentarão um BED mais alto do que os locais com espécies amplamente distribuídas. Todas as análises de diversidade filogenética foram realizadas no software R Statistical Environment (R Development Core Team 2018) com emprego do pacote 'picante' (Kembel et al. 2010). Com as métricas calculadas para cada grid, o padrão espacial de cada uma das métrica para espécies do estrato herbáceo-subarbustivo do Cerrado foi identificado usando o software ArcGIS para gerar os mapas. A distribuição espacial dessas métricas expõe a divergência entre elas e evidencia como as diferentes dimensões da diversidade são distribuídas de maneiras variadas por uma localidade, o que pode ser muito informativo no âmbito da conservação (Tucker e Cadotte 2013).

2.4 Identificação de Hotspots de Biodiversidade

Aqui o termo *hotspots* é usado para designar um grid ou uma área com altos valores para qualquer uma das cinco métricas de diversidade (SR, PD, ses.PD, ED e BED), isoladamente ou com sobreposição entre elas; os grids *hotspots* de diversidade. Para identificar

os grids *hotspots* para a flora herbáceo-subarbastiva do Cerrado foram comparados os mapas das cinco métricas de diversidade avaliadas. Um grid foi marcado como grid *hotspot* se o valor de uma determinada métrica estivesse no topo (10%) de seu intervalo e, assim, mapas foram gerados a partir da sobreposição par a par entre as métricas e um mapa indicando os grids onde houve a sobreposição entre as métricas de diversidade. Para verificar o grau de proteção da flora herbáceo-subarbastiva utilizamos o mapa da distribuição das unidades de conservação de proteção integral (UCPIs) do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) disponível em <http://mapas.mma.gov.br> (MMA 2019). Posteriormente, calculou-se a quantidade de espécies presentes dentro das UCPIs e o percentual de espécies em cada categoria de acordo com a classificação da *International Union for Conservation of Nature* - IUCN (IUCN 2020), publicadas no site Re flora (REFLORA, [s.d]) e no Livro Vermelho da Flora do Brasil - Plantas Raras do Cerrado (Martinelli et al. 2014).

3. Resultados

A lista de espécies gerada e empregada para as análises representa cerca de 56% dos 8.374 táxons de ervas e subarbustos levantados pelo *The Brazil Flora Group* (BFG 2015). As 4.713 espécies discriminadas são representadas por 781 gêneros e 112 famílias botânicas. Trinta dessas famílias (27 %) englobam a maior parte das espécies (86 %) e dos gêneros (74%) (APÊNDICE B). As demais 82 famílias (73 %) abrigam 14 % das espécies e 26 % dos gêneros, dentre as quais, Caryophyllaceae, que no Cerrado há ocorrência de cinco gêneros e nove espécies (Carneiro 2015) e encontramos cinco espécies de quatro gêneros para essa família. Sendo que uma das duas espécies do gênero *Paronychia*, a *Paronychia fasciculata*, é classificada como espécie rara e criticamente ameaçada (Martinelli et al. 2014). Por fim, 22 famílias possuem apenas uma espécie, como por exemplo, Aponanthaceae (*Pilostyles blanchetii*). Entre os 30 gêneros com maior número espécies está *Oxalis*, único representante da família Oxalidaceae com 33 espécies (APÊNDICE C). Essa riqueza florística com muitas espécies e gêneros concentrados em poucas famílias é comum em estudos florísticos no bioma. De acordo com Giulietti et al. (2009) aproximadamente 7% de toda a flora brasileira encontra-se em situação de raridade e a maioria dessas espécies raras estão concentradas no Cerrado. Espécies raras podem ser importantes para manutenção das funções ecossistêmicas,

especialmente, quando sua função não pode ser desempenhada por espécies comuns (Lyons et al. 2005).

3.1 Padrão Espacial das Métricas de Diversidade

No geral, o padrão de riqueza em espécies (SR) e a diversidade filogenética (PD) da flora herbáceo-subarbastiva do Cerrado foram semelhantes (Figura 2-A e 2-B). Os grids com maiores valores para SR e PD concentram-se na área core do Cerrado no Distrito Federal (DF), na região de Brasília e Chapada dos Veadeiros. Mas há alguns grids nas áreas marginais com alta SR e PD, por exemplo, na Cadeia do Espinhaço, região da Serra do Cipó, em Minas Gerais (MG).

Os grids com valores médios de PD (Figura 2-B) coincidem com áreas de planaltos, chapadas e serras dentro do bioma. No limite meridional concentrou-se na Escarpa Devoniana da região dos Campos Gerais, no Paraná (PR). No Centro-Oeste, concentram-se em áreas de contato do cerrado Sul-Mato-Grossense, com o Pantanal, na região da Serra de Maracaju e Serra da Bodoquena; no Mato Grosso (MT) estão localizados na região da Serra da Petrovina, da Chapada dos Guimarães e Serra do Roncador; no Tocantins (TO) na região do Jalapão, da Chapada das Mangabeiras e da Serra Geral; em Goiás (GO) na região da Chapada dos Parecis, Serra do Pirineus e Serra dos Caiapós. Muitos grids estão concentrados na região sudeste, como nas Cuestas Basálticas e Depressão Periférica, em São Paulo (SP); em MG no Triângulo Mineiro, nas regiões dos planaltos da Canastra e Araxá, à noroeste na Chapada do Espigão (divisa entre GO e MG), na região da Cadeia do Espinhaço até o alto do Jequitinhonha. No Nordeste, na região do Espigão Mestre (divisa entre BA e GO) e no Chapadão Ocidental do São Francisco, região oeste da Bahia (BA); nas regiões dos Planos Arenosos de Riachão e no Tabuleiro de Balsas, no sul do Maranhão (MA) e região setentrional no Tabuleiro dos Lençóis Maranhenses. Portanto, ocorrem grids com média a alta SR e PD tanto nas áreas centrais como nas áreas marginais do Cerrado, principalmente onde há Cerrado *stricto sensu* (Figura 2-A e 2-B).

Figura 2 – Padrões de distribuição espacial para métricas de diversidade (SR; PD; ses.PD; ED e BED).

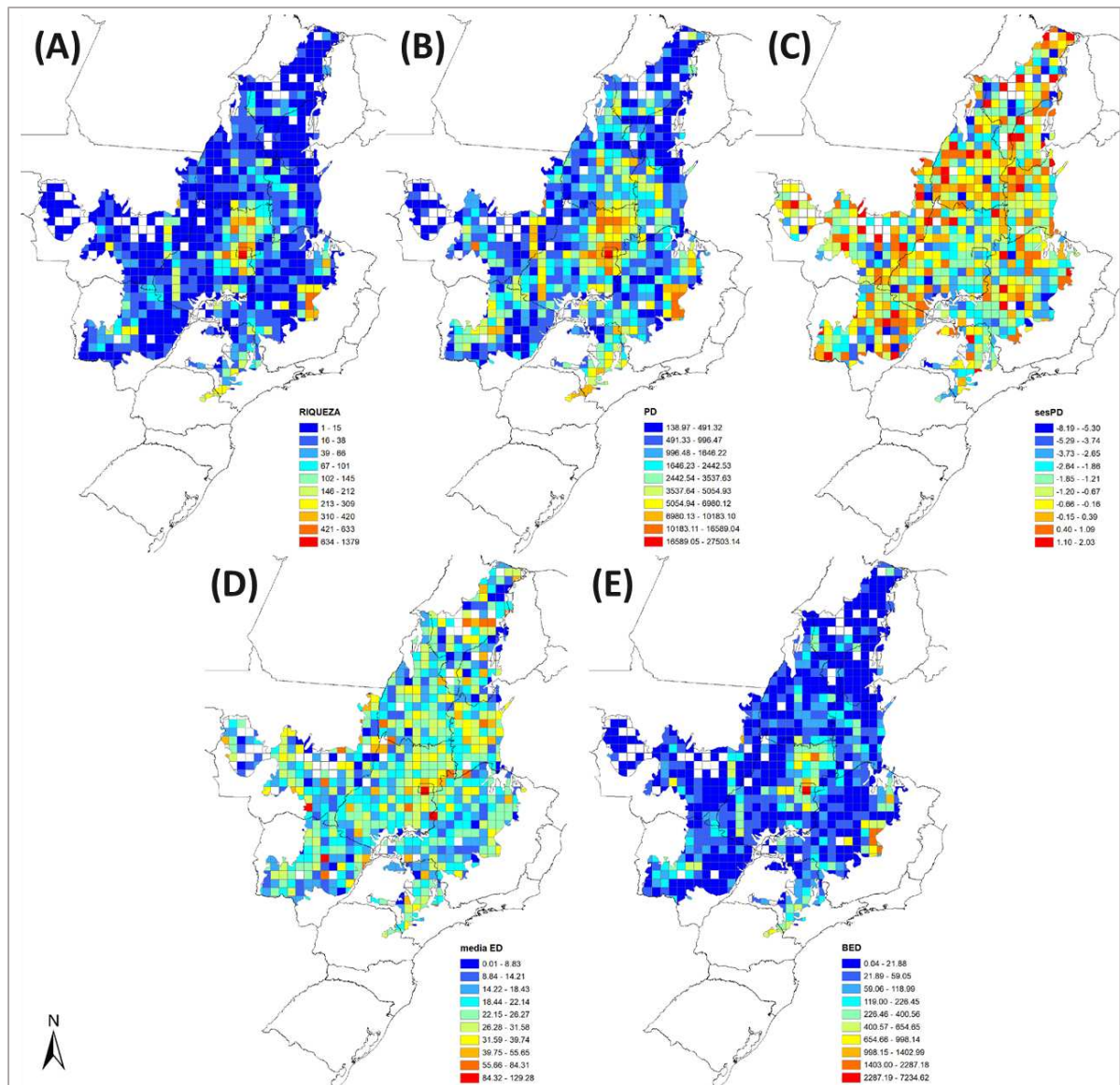


Figura 2. Padrão de distribuição espacial para as métricas de diversidade. (A) riqueza em espécies (SR); (B) diversidade filogenética (PD); (C) diversidade filogenética padronizada (ses.PD); (D) distinção evolutiva (ED) e (E) distinção evolutiva biogeograficamente ponderada (BED) das espécies herbáceo-subarbustivas do Cerrado. As linhas indicam os limites entre os estados brasileiros e o Distrito Federal.

Fonte: Aloirta W. Castilho Silva

O ses.PD apresentou um padrão bastante disperso com grids de elevado ses.PD espalhados por toda extensão do bioma (Figura 2-C). O padrão formado pelos grids com maiores valores de ses.PD (valores elevados à médios) indicam que a flora herbáceo-subarbustiva é muito diversificada não só nas áreas centrais do bioma, mas também nas áreas marginais. Do mesmo modo, o padrão gerado para ED apresentou-se muito disperso (Figura 2-

D) e pouco similar aos dos demais índices de diversidade. Todos os estados que abrigam o bioma Cerrado possuem grids com importantes valores de ED. Um padrão interessante ocorre nos estados do TO, MA, BA e Piauí (PI) onde observa-se grids de valores altos à médios para ED e igualmente observado para o ses.PD (Figuras 2-C e 2-D) e onde localiza-se a fronteira agrícola, MATOPIBA. O padrão da BED (Figura 2-E) foi muito semelhante ao da SR e PD, com grids de altos valores de BED concentrados na região central e na Cadeia do Espinhaço, na região da Serra do Cipó (MG).

3.2 *Hotspots de Diversidade e Estado de Conservação*

Os padrões espaciais dos *hotspots* de diversidade diferiram entre as métricas de diversidade (Figura 3). Não houve sobreposição concomitante para as cinco métricas em nenhum grid. Apenas em três grids, quatro métricas foram coincidentes, sendo dois localizados no MT, e um grid na região de Brasília (DF), que apresentou elevados valores para a ED, BED, SR e a PD, mas baixo valor para ses.PD. As métricas SR, PD e a BED apresentaram padrões de distribuição semelhantes (Figura 3-A, 3-B e 3-E) e muito diferentes do ses.PD e ED (Figura 3-C e 3-D) que também diferem entre si e apresentaram padrões mais dispersos. Os grids *hotspots* de diversidade com sobreposição de três ou duas métricas, concentraram-se na região central do Cerrado, no leste e norte do estado de GO e, marginalmente, na Cadeia do Espinhaço, na Serra do Cipó (MG).

Identificamos áreas com importante diversidade da flora herbáceo-subarbustiva fora das UCPIs (Figura 3-F e 3-G). Das 4.713 espécies analisadas, 2.641 (56%) não apresentaram registro de ocorrência dentro das UCPIs. A quantidade de espécies, 2.072 (44%) com registro de ocorrência em UCPIs, foi menor do que fora delas. Desse percentual de 44%, cerca de 7% estão classificadas nas categorias de ameaçadas (CR, EN e VU), 82% como não avaliadas (NE) e os 11% restantes representam espécies das categorias quase ameaçadas (NT), menos preocupantes (LC) e com dados insuficientes (DD), conforme as categorias da IUCN (IUCN 2020). O número absoluto de espécies sem registros de ocorrências em UCPIs foi maior, mas os percentuais para as categorias da IUCN, foram pouco diferentes aos das espécies com

Figura 3 – Distribuição espacial dos hotspots de diversidade da flora herbáceo-subarbustivas do Cerrado.

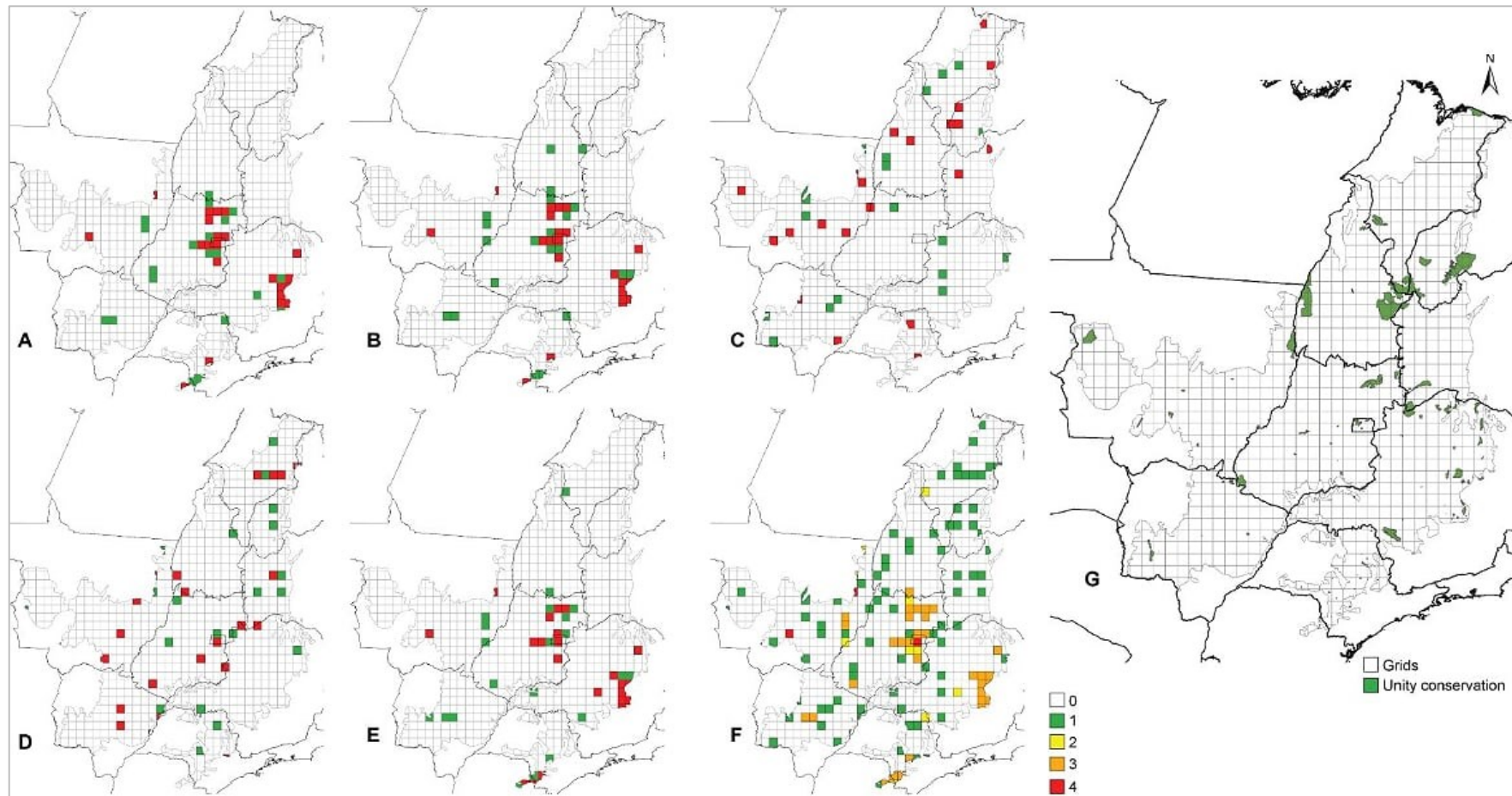


Figura 3. Distribuição espacial dos hotspots de diversidade da flora herbáceo-subarbustivas do Cerrado para: (A) riqueza em espécies (SR); (B) diversidade filogenética (PD); (C) diversidade filogenética padronizada (ses.PD); (D) distinção evolutiva (ED); (E) distinção evolutiva biogeograficamente ponderada (BED); (F) sobreposição entre os hotspots de diversidade e (G) Unidades de conservação de proteção integral no bioma. As linhas indicam os limites entre os estados brasileiros e o Distrito Federal. Fonte: Aloirta W. Castilho Silva

registros. Porém, as espécies com registro em UCPIs também podem estar ocorrendo fora delas, o que não foi capturado pela metodologia empregada aqui. Mas considerando essa informação e que o número de espécies sem registro de ocorrência em UCPIs foi maior é possível inferir que esses percentuais possam ser maiores do que o apresentado aqui (Tabela 1).

Tabela 1 – Número absoluto de espécies da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado com registros e sem registros em UCPIs. Percentuais das categorias da IUCN.

	COM registros em UCPIs	SEM registros em UCPIs
Número de espécies	2.072	2.641
Percentual em relação ao total de espécies analisadas	44 %	56 %
Espécies em categorias ameaçadas (CR; EN; VU)	7 %	8 % (*)
Espécies não avaliadas (NE)	82 %	82 % (*)
Espécies nas demais categorias (DD; LC; NT)	11 %	10 % (*)

Tabela 1. Número absoluto de espécies da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado com registros e sem registros em unidades de conservação de proteção integral (UCPIs). Percentual de espécies ameaçadas de extinção, não avaliadas quanto ao risco e nas demais categorias da IUCN. (*) devido a metodologia empregada foi possível ter precisão dos percentuais nas categorias da IUCN para as espécies com registro em UCPIs, mas como essas espécies também podem estar ocorrendo fora delas esses percentuais podem ser ainda maiores. Fonte: Aloirta W. Castilho Silva

4. Discussão

Os padrões de SR e PD, ficaram concentrados na região central do Cerrado (Figura 2-A e 2-B) apontada como área de alta estabilidade climática durante as oscilações do Quaternário e que teria abrigado muitas espécies (Werneck et al. 2012; Bueno et al. 2017a) que passaram por um longo processo evolutivo de diversificação *in situ* influenciado pelo fogo e seca (Simon

et al. 2009; Batalha et al. 2011b; Simon e Pennington 2012) dando origem a um supercentro de biodiversidade (Castro e Martins 1999). O padrão de SR e PD no MT, MG e SP, também coincide com áreas identificadas como de alta estabilidade climática por Bueno et al. (2017a). Padrões de riqueza e diversidade semelhantes foram identificados para as espécies herbáceo-arbustivas (Amaral et al. 2017), para as espécies lenhosas (Rossatto 2014; França et al. 2016; Bueno et al. 2017b) e para grupos de animais, como anuros (Bini et al. 2006), répteis, anfíbios, aves e mamíferos (e.g. Diniz-Filho et al. 2008, 2009a).

Autores pioneiros sugeriram que a área central do bioma deteria uma flora mais rica e com maior número de espécies arbóreas exclusivas em relação as áreas marginais (Labouriau 1966; Eiten 1972; Rizzini 1997; Castro et al. 1999). Nossos resultados indicam que ocorre elevada riqueza e diversidade filogenética para a flora herbáceo-subarbustiva tanto na região central quanto em algumas áreas marginais. É importante destacar que nas áreas centrais e marginais com importantes valores de SR e PD, predomina a ocorrência de formações savânicas e campestres do bioma, onde há a prevalência de espécies herbáceas e subarbustivas e arbustos em relação as arbóreas, embora, essas espécies também estejam presentes em formações florestais (Mendonça et al. 2008; Ribeiro e Walter 2008).

Os resultados obtidos reforçam a hipótese de ocorrência de alta diversidade de espécies nas áreas marginais do Cerrado, particularmente naquelas em contato com outros biomas e onde o compartilhamento de espécies é favorecido (Oliveira-Filho e Ratter 1995; Souza-Neto et al. 2016). Essa condição aumenta a SR e pode acrescentar ramos na filogenia das comunidades nessas áreas. Isso explicaria os grids com alta e média PD no Mato Grosso do Sul (MS), aglomerados em áreas de contato com o Pantanal, assim como grids com média PD no estado da BA, em áreas de contato com a Caatinga. Há registros de alta riqueza e diversidade de espécies vegetais, inclusive para o estrato herbáceo-subarbustivo, tanto no cerrado Sul-mato-grossense (Kufner et al. 2008; Assunção et al. 2011; Oliveira et al. 2014; Lima et al. 2015; Bueno et al. 2018) quanto no cerrado baiano (Mendonça et al. 2001; Felfili e Silva-Júnior 2005; de Oliveira et al. 2015). Em ambos, foram registradas famílias botânicas representadas por uma única espécie (Felfili e Silva-Júnior 2005; Kufner et al. 2008). Das 112 famílias levantadas neste estudo, 22 são representadas por uma única espécie e, da mesma forma, 44 % dos 781 gêneros possuem apenas uma espécie registrada. França et al. (2016) postularam que famílias e gêneros com representantes únicos podem ser resultado de eventos adaptativos recentes (e.g.

Simon et al., 2009; Simon and Pennington, 2012) ou são relíquias evolutivas que passaram por pouca diversificação.

No Cerrado do sudeste meridional considera-se a existência de um supercentro de biodiversidade, delimitado pela barreira climática do polígono das geleiras (Castro e Martins 1999). Trabalhos pioneiros também apontam que o padrão florístico e os limites atuais dessa região são influenciados pelas baixas temperaturas e sobretudo pela não ocorrência de geleiras (Eiten 1972, 1993; Silberbauer-Gottsberger et al. 1977; Vuono et al. 1982; Ribeiro e Walter 1998; Roderjan et al. 2002). As baixas temperaturas, além de restringir a distribuição podem selecionar características vegetais de tolerância e sobrevivência a essa condição (Loik e Nobel 1993; Loik e Redar 2003; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006) com favorecimento das espécies típicas de cerrado resistentes as baixas temperaturas (Mêio et al. 2003) e a ocorrência de um cerrado mais aberto (Brando e Durigan 2005). Esses fatores podem ter contribuído para os padrões de SR, PD e ses.PD observados aqui para a flora herbáceo-subarborescente, no sul do Cerrado. Para os Campos Gerais (PR) há registro de um estrato herbáceo-graminoso heterogêneo com expressiva riqueza e alto grau de endemismo (Uhlmann et al. 1998; Von Linsingen et al. 2006; Carmo et al. 2012).

Ao eliminar o viés da SR, na PD, vários grids capturaram a existência da diversidade filogenética por toda a extensão do bioma. O padrão de ses.PD observado pode estar associado aos eventos históricos, e aos grandes contrastes geológicos, edáficos e climáticos em toda a extensão do Cerrado (Rossatto 2014). Somados, esses eventos contribuíram para a origem de um mosaico vegetacional complexo no Cerrado (Ribeiro e Walter 2008) que abriga uma variedade de nichos sob diferentes pressões seletivas, conduzindo processos de especiação com forte influência dos biomas adjacentes (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006; Simon et al. 2009), sobretudo devido à ausência de grandes barreiras geográficas (Oliveira-Filho e Ratter 2002; Ratter et al. 2003). Essa influência parece ter sido substancial para aumentar a riqueza e diversidade da flora do Cerrado (Heringer et al. 1977; Rizzini 1997; Castro et al. 1999; Salgado-Labouriau 2005; Marimon et al. 2006; Caetano et al. 2008; Novaes et al. 2010; Borghetti et al. 2019; Françoso et al. 2020).

A flora herbáceo-subarborescente do Cerrado pode estar associada a um conjunto de espécies de origens diversas, mas com similitudes florísticas por causa de sua localização estratégica (Simon et al. 2009; Amaral et al. 2017; Borghetti et al. 2019), e pertencentes aos

principais clados de angiospermas (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006). Logo, o padrão disperso de ses.PD pode ser um reflexo da diversidade de linhagens mais recentes associada a espécies com muitos ramos profundos (Swenson 2009; Rezende et al. 2017). A nossa filogenia que possui representantes de grupos mais basais, como o clado Magnoliids (Piperaceae) e, de diversificação mais recentes como do clados Monocots (Araceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae, Orchidaceae, Poaceae e Velloziaceae) e eudicotiledôneas (Asteraceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Melastomataceae e Malvaceae). Essas famílias botânicas citadas compreendem a maioria das espécies presentes na lista de espécies deste estudo (APÊNDICE B).

Os maiores valores de ED (Figura 2-D) representam áreas onde há uma concentração de espécies mais isoladas filogeneticamente e que carregam uma história evolutiva única (Isaac et al. 2007; Redding e Mooers 2010; Redding et al. 2010; Edwards et al. 2017). Por outro lado, espécies com baixo ED são assinaladas por diversificações recentes com muitos parentes próximos (Isaac et al. 2007; Edwards et al. 2017) e portanto não são relictuais (Jetz et al. 2014). As áreas com alto ED abrigam espécies que se originaram ou imigraram e permaneceram evolutivamente distintas das demais na comunidade e podem ser reputadas como museus de diversidade (Jetz et al. 2014). Em áreas de estabilidade climática espera-se encontrar linhagens relictuais e um acúmulo de riqueza (Jetz et al. 2004; Jablonski et al. 2006; Bueno et al. 2017a). Também é esperado capturar uma maior PD em grids com maiores valores de ED (Redding et al. 2008, 2010) como observamos no DF e na Serra do Cipó (MG).

Os campos rupestres da Cadeia do Espinhaço são vegetações muito antigas, com expressiva riqueza em espécies herbáceas e composição florística ímpar (Giulietti et al. 1997, 2009; Rapini et al. 2008; Fernandes 2016; Zappi et al. 2017; Morellato e Silveira 2018). Mas as áreas tropicais montanhosas são reconhecidas como centros de diversificação, ou seja, berços de espécies, ao invés de museus (Davies et al. 2007). A extensão de norte a sul e a grande variação topográfica da Cadeia do Espinhaço proporciona um gradiente de altitude, com disjunções e uma variedade de solos que contribuem para uma abundância de micro-habitats (Conceição et al. 2005; Benites et al. 2007) o que favorece a diversificação (e.g. Trovó et al. 2013; Novaes et al. 2013; Oliveira-Filho et al. 2014; Pugliesi e Rapini 2015). Essas características parecem colaborar para o alto endemismo, a alta SR e PD de plantas nessa área, além do padrão de ED encontrado na Serra do Cipó (MG) que pode ser atribuído a uma

diversificação mais recente de espécies, com muitos parentes próximos, o que também pode elevar a PD nessa região.

A métrica BED aponta os locais onde há maior risco de extinção, pois as espécies de linhagens evolutivas mais restritas geograficamente recebem maiores valores do que seus parentes mais próximos amplamente distribuídos (Gaston 2003; Jones et al. 2003; Tucker e Cadotte 2013). Por capturar a raridade e a história evolutiva a BED indica pontos cruciais de interesse para conservação (Veron et al. 2016). A similaridade entre os padrões de BED, SR e PD indica a ocorrência de alta riqueza de espécies, diversidade filogenética e linhagens evolutivamente distintas tanto na área central do Cerrado quanto marginalmente em áreas de contato com outros biomas.

A análise em macroescala combinando com diferentes métricas de diversidade permitiu capturar vários aspectos da diversidade flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado (Figura 3). A sobreposição de grids *hotspots* indicou as áreas de fundamental importância para a conservação dessa flora pois apontou áreas onde pode-se preservar sua riqueza, diversidade de espécies e linhagens possibilitando a melhor aplicação dos recursos disponibilizados (Diniz-Filho et al. 2009). Entretanto, houve muitos grids *hotspots* aleatoriamente espalhados por todo o bioma (Figura 3-F). Isso significa que para preservar a flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado é preciso contemplar áreas que englobem suas diferentes fisionomias. Uma vez que as áreas de estabilidade climática concentraram grids *hotspots* e são consideradas áreas de refúgio e centros de diversidade de espécies vegetais neotropicais (Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2009; Carnaval et al. 2009; Collevatti et al. 2012a, b; Werneck et al. 2012; Lima et al. 2014; Bueno et al. 2017a) deveriam receber prioridade de conservação. Conservar áreas com grids *hotspots* maximiza a preservação da árvore filogenética e pode assegurar a persistência de várias espécies no futuro (Jetz et al. 2014).

O Cerrado encontra-se sob forte e constante pressão antrópica, a agricultura e pecuária estão entre as maiores ameaças a sua diversidade (Lahsen et al. 2016; Sano et al. 2019). Os dados governamentais mostram que as taxas de desmatamento anuais são muito superiores à dos demais biomas brasileiros, com grandes mudanças na paisagem e perda de habitat (Miranda et al. 2014; Esquerdo et al. 2015; IBGE 2018; Sano et al. 2019), principalmente devido a expansão da fronteira agropecuária Matopiba (Miranda et al. 2014; Lahsen et al. 2016; Sano et al. 2019). Nas áreas por onde essa fronteira avança há uma maior concentração de vegetação

nativa remanescente (Diniz-Filho et al. 2009; Françoso et al. 2015) considerada bem preservada (Esquerdo et al. 2015) e vários grids *hotspots* estão presentes nessas áreas e fora das UCPIs.

Situação semelhante ocorre no estado do MT onde dois grids *hotspots* com sobreposição de quatro das cinco métricas analisadas estão presentes e, a rápida mudança no uso da terra é uma ameaça. Ao Sul, nos fragmentos de cerrado paranaense, a expansão da monocultura e invasão de espécies exóticas (*Pinus* e gramíneas africanas) podem levar a eliminação de relictos de uma flora herbáceo-subarbustiva nativa muito rica (Moro e Carmo 2010). Na Cadeia do Espinhaço, em MG, a perda de habitat devido a mineração constitui a maior ameaça para a biodiversidade dessa região (Jacobi e Carmo 2008; Pontara et al. 2018) e aumenta muito o risco de extinção de uma história evolutiva singular, devido ao elevado endemismo, das espécies consideradas raras e com diferentes estratégias de vida (Giulietti et al. 1997; Rapini et al. 2008). Observamos que em todas essas áreas há poucas UCPIs (Figura 3-G).

Foi possível detectar grande fragilidade na proteção da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado com muitos grids *hotspots* fora dos limites das UCPIs. Do total de espécies analisadas, 44% tiveram registros de ocorrência dentro das UCPIs, das quais 145 espécies (7%) estão nas categorias de ameaçadas e o percentual de espécies não avaliadas é alto (Tabela 1). Diante do atual cenário de políticas públicas de incentivos e atenção para conservação do Cerrado, a proteção para esse bioma está muito distante da meta de 17% de área protegida até 2020 traçada pela CDB de 2010 para garantir a conservação da sua diversidade (Herkenrath e Harrison 2011). Embora o Brasil tenha uma responsabilidade global com a proteção do Cerrado pelo fato de ser um *hotspot* praticamente restrito ao território brasileiro (Rylands e Brandon 2005).

5. Conclusão

Os resultados obtidos validaram a hipótese de que haveria uma concentração de grids *hotspots* nas áreas centrais do Cerrado e alguns outros nas áreas marginais, principalmente próximas às regiões de contato com outros biomas. A diversidade da flora herbáceo-subarbustiva foi capturada pelas diferentes métricas empregadas e se mostrou amplamente distribuída por toda a extensão do bioma com grids *hotspots* que podem ser importantes para a conservação dessa flora concentrados na sua região central, no Distrito Federal, em áreas marginais como na Serra do Cipó, Minas Gerais, e no estado do Mato Grosso. Indicando que é importante que as diferentes fisionomias do Cerrado sejam contempladas por unidades de

conservação para que a flora herbáceo-subarbusiva seja melhor protegida. Essa flora se mostrou escassamente protegida pelas UCPIs existentes além de pouco estudada, com um alto percentual de espécies não avaliadas. Os grids *hotspots* fora das UCPIs merecem atenção na ampliação da rede de conservação do Cerrado, especialmente, nas áreas onde houve sobreposição de grids *hotspots* e são consideradas como áreas de estabilidade climática e/ou concentram remanescentes de vegetação nativa como no Mato Grosso e na região norte do Cerrado.

6. Referências

Alho CJR (2005) Desafios para a conservação do Cerrado, em face das atuais tendências de uso e ocupação. In: Scariot, A.; Sousa-Silva, J.C.; Felfili, J.M. (Org.). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 367–381

Amaral AG, Munhoz CBR, Eugênio CUO, Felfili JM (2013) Vascular flora in dry-shrub and wet grassland Cerrado seven years after a fire, Federal District, Brazil. Check List 9:487–503. <https://doi.org/10.15560/9.3.487>

Amaral AG, Munhoz CBR, Walter BMT, et al (2017) Richness pattern and phytogeography of the Cerrado herb–shrub flora and implications for conservation. J Veg Sci 28:848–858. <https://doi.org/10.1111/jvs.12541>

Assunção VA, Guglieri-Caporal A, Sartori ÂLB (2011) Florística do estrato herbáceo de um remanescente de cerradão em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. Hoehnea 38:281–288. <https://doi.org/10.1590/s2236-89062011000200008>

Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, et al (2011) Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived? Nature 471:51–57

Batalha MA, Silva IA, Cianciaruso MV, et al (2011a) Phylogeny, traits, environment, and space in cerrado plant communities at Emas National Park (Brazil). Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants 206:949–956. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.07.004>

Batalha MA, Silva IA, Cianciaruso MV, De Carvalho GH (2011b) Trait diversity on the phylogeny of cerrado woody species. Oikos 120:1741–1751. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19513.x>

Benites VM, Schaefer CEGR, Simas FNB, Santos HG (2007) Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. Brazilian Journal of Botany 30(4):569–577. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042007000400003>

Beuchle R, Grecchi RC, Shimabukuro YE, et al (2015) Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Appl Geogr* 58:116–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>

BFG, Brazil Flora Group (2018) Brazilian flora 2020: Innovation and collaboration to meet target 1 of the global strategy for plant conservation (GSPC). *Rodriguesia* 69:1513–1527. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869402>

BFG, Brazil Flora Group (2015) Growing knowledge: An overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguesia* 66:1085–1113. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>

Bini LM, Diniz-Filho JAF, Rangel TFLVB, et al (2006) Challenging Wallacean and Linnean shortfalls: Knowledge gradients and conservation planning in a biodiversity hotspot. *Divers Distrib* 12:475–482. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00286.x>

Borghetti F, Barbosa E, Ribeiro L, et al (2019) South American Savannas. In: Scogings PF, Sankaran M (orgs) *Savanna Woody Plants and Large Herbivores*, John Wiley & Sons, Ltd, p 77–122. <https://doi.org/10.1002/9781119081111.ch4>

Brando PM, Durigan G (2005) Changes in cerrado vegetation after disturbance by frost (São Paulo State, Brazil). *Plant Ecol* 175:205–215. <https://doi.org/10.1007/s11258-005-0014-z>

Brooks TM, Mittermeier RA, Da Fonseca GAB, et al (2006) Global biodiversity conservation priorities. *Science* 313(5783):58–61. <https://doi.org/10.1126/science.1127609>

Brown CJ, Bode M, Venter O, et al (2015) Effective conservation requires clear objectives and prioritizing actions, not places or species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 112:E4342

Brum FT, Graham CH, Costa GC, et al (2017) Global priorities for conservation across multiple dimensions of mammalian diversity. *Proc Natl Acad Sci U S A* 114:7641–7646. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706461114>

Bueno ML, Oliveira-Filho AT de, Pontara V, et al (2018) Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. *Iheringia - Ser Bot* 73:53–64. <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873s53>

Bueno ML, Pennington RT, Dexter KG, et al (2017a) Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. *Ecography (Cop)* 40:403–414. <https://doi.org/10.1111/ecog.01860>

Bueno ML, Rezende VL, Pontara V, de Oliveira-Filho AT (2017b) Floristic distributional patterns in a diverse ecotonal area in South America. *Plant Ecol* 218:1171–1186. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0759-1>

Bustamante MMC, de Brito DQ, Kozovits AR, et al (2012) Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado). *Plant Ecol* 213:795–808. <https://doi.org/10.1007/s11258-012-0042-4>

Cadotte MW, Cardinale BJ, Oakley TH (2008) Evolutionary history and the effect of biodiversity on plant productivity. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105:17012–17017. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805962105>

Cadotte MW, Davies JT (2010) Rarest of the rare: Advances in combining evolutionary distinctiveness and scarcity to inform conservation at biogeographical scales. *Divers Distrib* 16:376–385. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00650.x>

Cadotte MW, Dinnage R, Tilman D (2012) Phylogenetic diversity promotes ecosystem stability. *Ecology* 93:223–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/11-0426.1>

Caetano S, Prado D, Pennington RT, et al (2008) The history of Seasonally Dry Tropical Forests in eastern South America: Inferences from the genetic structure of the tree *Astronium urundeuva* (Anacardiaceae). *Mol Ecol* 17:3147–3159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03817.x>

Cardinale BJ, Duffy JE, Gonzalez A, et al (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

Carmo MRB do, Andrade ALP, dos Santos GA da SD, Assis MA (2012) Análise estrutural em relictos de cerrado no parque estadual do guaratá, município de Tibagi, estado do paraná, Brasil. *Cienc Florest* 22:505–517. <https://doi.org/10.5902/198050986618>

Carnaval AC, Hickerson MJ, Haddad CFB, et al (2009) Stability predicts genetic diversity in the Brazilian Atlantic forest hotspot. *Science* 323(5915):785–789. <https://doi.org/10.1126/science.1166955>

Carneiro CE (2015) Caryophyllaceae in Lista de espécies da flora do Brasil. In: BFG. *Grow. Knowl. an Overv. Seed Plant Divers. Brazil*. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB6709>

Carvalho RA de, Cianciaruso MV, Trindade-Filho J, et al (2010) Drafting a blueprint for functional and phylogenetic diversity conservation in the Brazilian cerrado. *Nat a Conserv* 8:171–176. <https://doi.org/10.4322/natcon.00802011>

Castro AAJF, Martins FR (1999) Cerrados do Brasil e do Nordeste: Caracterização,  rea de Ocupação e Considerações sobre a sua Fitodiversidade. *Pesqui em Foco* 7:147–178

Castro AAJF, Martins FR, Tamashiro JY, Shepherd GJ (1999) How Rich is the Flora of Brazilian Cerrados? *Source Ann Missouri Bot Gard* 86:192–224. <https://doi.org/10.2307/2666220>

Cavender-Bares J, Kozak KH, Fine PVA, Kembel SW (2009) The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecol Lett* 12:693–715. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01314.x>

CBD (2010) Decision Adopted by The Conference of the Parties to the Convention On Biological Diversity at It's Tenth Meeting X/2. The Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Biodiversity Targets. In: Convention on Biological Diversity Conference of the Parties. Available from <http://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf>. Accessed 11 October 2018

Chase MW, Christenhusz MJM, Fay MF, et al (2016) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot J Linn Soc* 181:1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>

Cianciaruso MV, Antônio Batalha M, Aurélio Da Silva I (2005) Seasonal variation of a hyperseasonal cerrado in Emas National Park, central Brazil. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants* 200:345–353. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2005.02.001>

Cianciaruso M V., Silva IA, Batalha MA, et al (2012) The influence of fire on phylogenetic and functional structure of woody savannas: Moving from species to individuals. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 14:205–216. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2011.11.004>

Cianciaruso M V, Batalha MA, Petchey OL (2013) High loss of plant phylogenetic and functional diversity due to simulated extinctions of pollinators and seed dispersers in a tropical savanna. *Nat a Conserv* 11:36–42. <https://doi.org/10.4322/natcon.2013.005>

Collevatti RG, Lima-Ribeiro MS, Souza-Neto AC, et al (2012a) Recovering the demographical history of a Brazilian cerrado tree species *Caryocar brasiliense*: Coupling ecological niche modeling and coalescent analyses. *Nat a Conserv* 10:169–176. <https://doi.org/10.4322/natcon.2012.024>

Collevatti RG, Terribile LC, Lima-Ribeiro MS, et al (2012b) A coupled phylogeographical and species distribution modelling approach recovers the demographical history of a Neotropical seasonally dry forest tree species. *Mol Ecol* 21:5845–5863. <https://doi.org/10.1111/mec.12071>

Conceição AA, Rapini A, Pirani JR, et al (2005) Campos Rupestres. In: Junc a F., Funch L, Rocha W (orgs) *Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 153–180

Coronado ENH, Dexter KG, Pennington RT, et al (2015) Phylogenetic diversity of Amazonian tree communities. *Divers Distrib* 21:1295–1307. <https://doi.org/10.1111/ddi.12357>

Coutinho LM (2002) O bioma do cerrado. In: Aldo Luiz Klein (org) *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. Editora UNESP, São Paulo, p 77–91

Coutinho LM (2006) O conceito de bioma. *Acta Bot. Brasilica* 20:13–23

Dantas V de L, Pausas JG, Batalha MA, et al (2013) The role of fire in structuring trait variability in Neotropical savannas. *Oecologia* 171:487–494. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2431-8>

Davies RG, Orme CDL, Webster AJ, et al (2007) Environmental predictors of global parrot (Aves: Psittaciformes) species richness and phylogenetic diversity. *Glob Ecol Biogeogr* 16:220–233. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00282.x>

de Oliveira CP, Francelino MR, Cysneiros VC, et al (2015) Composição florística e estrutura de um cerrado sensu stricto no oeste da Bahia. *Cerne* 21:545–552. <https://doi.org/10.1590/01047760201521041722>

Devictor V, Mouillot D, Meynard C, et al (2010) Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: The need for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecol Lett* 13:1030–1040. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01493.x>

Diniz-Filho JAF, Bini LM, de Oliveira G, et al (2009) Macroecologia, biogeografia e áreas prioritárias para conservação no cerrado. *Oecologia Bras* 13:470–497. <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.05>

Diniz-Filho JAF, Mauricio Bini L, Marques Vieira C, et al (2008) Spatial patterns of terrestrial vertebrate species richness in the Brazilian Cerrado. *Zool Stud* 47:146–157

Dirzo R, Raven PH (2003) Global State of Biodiversity and Loss. *Annu Rev Environ Resour* 28:137–167. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105532>

Dudley N (2008) Guidelines for applying protected area management categories. IUCN Publications Services, Switzerland

Edwards DP, Massam MR, Haugaasen T, Gilroy JJ (2017) Tropical secondary forest regeneration conserves high levels of avian phylogenetic diversity. *Biol Conserv* 209:432–439. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2017.03.006>

Eiten G (1993) Vegetação do Cerrado. In: Pinto MN (org) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas, 2a. Editora Universidade de Brasília, Brasília, p 17–73

Eiten G (1972) The cerrado vegetation of Brazil. *Bot Rev* 38:201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>

Esquerdo JCDM, Coutinho AC, Sanches LB, et al (2015) Dinâmica da agricultura anual na região do Matopiba. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos, p 4583–4588

ESRI (2011) ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Eugênio CUO, Munhoz CBR, e Felfili JM (2011) Dinâmica temporal do estrato herbáceo-arbustivo de uma área de campo limpo úmido em alto paraíso de goiás, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 25:497–507. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200025>

Fahrig L (2003) Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34:487–515

Faith DP (1992) Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biol Conserv* 61:1–10. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)91201-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)91201-3)

Faith DP (2008) Threatened species and the potential loss of phylogenetic diversity: Conservation scenarios based on estimated extinction probabilities and phylogenetic risk analysis. *Conserv Biol* 22:1461–1470. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01068.x>

Faith DP, Magallón S, Hendry AP, et al (2010) Ecosystem services: An evolutionary perspective on the links between biodiversity and human well-being. *Curr Opin Environ Sustain* 2:66–74. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.04.002>

Faith DP, Reid CAM, Hunter J (2004) Integrating Phylogenetic Diversity, Complementarity, and Endemism for Conservation Assessment. *Conserv Biol* 18:255–261. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00330.x>

Felfili JM, Silva-Júnior MC (2005) Diversidade alfa e beta no cerrado sensu stricto, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (orgs) *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 141–154

Felfili MC, Felfili JM (2001) Diversidade alfa e beta no cerrado Sensu Stricto da chapada pratinha, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 15:243–254. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000200010>

Fernandes GW (2016) The Megadiverse Rupestrian Grassland. In: Fernandes G. (eds) *Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5_1

Filgueiras T de S (2002) Herbaceous Plant Communities. In: Oliveira PS, Marquis RJ (orgs) *The Cerrados of Brazil - Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, 1a. Columbia University Press, New York, p 121–139

Fonseca CR, Venticinque EM (2018) Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning. *Perspect. Ecol. Conserv.* 16:61–67

Françoso RD, Brandão R, Nogueira CC, et al (2015) Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. *Nat e Conserv* 13:35–40. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>

Françoso RD, Dexter KG, Machado RB, et al (2020) Delimiting floristic biogeographic districts in the Cerrado and assessing their conservation status. *Biodivers Conserv* 29:1477–1500. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01819-3>

Françoso RD, Haidar RF, Machado RB (2016) Tree species of South America central savanna: Endemism, marginal areas and the relationship with other biomes. *Acta Bot Brasilica* 30:78–86. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0244>

Furley PA, Ratter JA (1988) Soil Resources and Plant Communities of the Central Brazilian Cerrado and Their Development. *J Biogeogr* 15:97. <https://doi.org/10.2307/2845050>

Gaston KJ (2003) The structure and dynamics of geographic ranges. Oxford University Press on Demand

GBIF Global Biodiversity Information Facility. In: Biodivers. Occur. data Publ. <http://gbif.sibbr.gov.br>. Accessed 8 nov 2018

Giulietti AM, Pirani JR, Harley RM (1997) Espinhaço range region eastern Brazil. In: Davis SD, Heywood V (orgs) *Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation*. IUCN Publication Unity, Cambridge, p 397–404

Giulietti AM, Rapini A, Andrade MJG De, et al (2009) *Plantas raras do Brasil. Conservação Internacional; Co-editora: Universidade Estadual de Feira de Santana, Belo Horizonte*

Gottsberger G, Silberbauer-Gottsberger I (2006) *Life in the Cerrado a South American Tropical Seasonal Ecosystem. Vol. I. Origin, Structure, Dynamics and Plant Use*. Reta Verlag, Ulm, Germany

Gottsberger G, Silberbauer-Gottsberger I (2009) *Tropical Savannas-Introduction*. In: Del Claro K, Oliveira PS, Rico-Gray V (orgs) *Tropical Biology and Conservation Management - Savannah Ecosystems*. Eolss Publishers Co. Ltd., Oxford, UK, p 341–380

Guedes TB, Sawaya RJ, Zizka A, et al (2018) Patterns, biases and prospects in the distribution and diversity of Neotropical snakes. *Glob Ecol Biogeogr* 27:14–21. <https://doi.org/10.1111/geb.12679>

Guilhaumon F, Albouy C, Claudet J, et al (2015) Representing taxonomic, phylogenetic and functional diversity: New challenges for Mediterranean marine-protected areas. *Divers Distrib* 21:175–187. <https://doi.org/10.1111/ddi.12280>

Heringer EP, Barroso GM, Rizzo JA, Rizzini CT (1977) Simpósio sobre o cerrado base para a utilização agropecuária. In: Ferri MG (org) A flora do Cerrado. Editora da Universidade de São Paulo & Editora Itatiaia, São Paulo, p 211–232

Herkenrath P, Harrison J (2011) The 10th meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity-a breakthrough for biodiversity? *Oryx* 45:1–2. <https://doi.org/10.1017/S0030605310001663>

Heywood VH, Iriondo JM (2003) Plant conservation: Old problems, new perspectives. *Biol. Conserv.* 113:321–335

Hooper D., Chapin, III FS, Ewel JJ, et al (2005) Effects of Biodiversity on Ecosystem Functioning: a Consensus of Current Knowledge. *Ecol Monogr - ESA Rep* 75:3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>

IBGE (2004) Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. In: IBGE - Inst. Bras. Geogr. e Estatística. <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Accessed 18 dez 2019

IBGE (2018) Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2014 - 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE, Rio de Janeiro

INPE (2018) Projeto Monitoramento do Cerrado. In: Inst. Nac. Pesqui. Espac. <http://cerrado.obt.inpe.br/>. Accessed 18 out 2019

Isaac NJB, Turvey ST, Collen B, et al (2007) Mammals on the EDGE: Conservation priorities based on threat and phylogeny. *PLoS One* 2:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000296>

IUCN (2020) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3. <https://www.iucnredlist.org/>. Accessed 20 jan 2020

Jablonski D, Roy K, Valentine JW (2006) Out of the tropics: Evolutionary dynamics of the latitudinal diversity gradient. *Science* (80-) 314:102–106. <https://doi.org/10.1126/science.1130880>

Jacobi CM, Carmo FF (2008) Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero. *Megadiversidade* 4:25–33

Jenkins CN, Pimm SL, Joppa LN (2013) Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302251110>

Jetz W, Rahbek C, Colwell RK (2004) The coincidence of rarity and richness and the potential signature of history in centres of endemism. *Ecol Lett* 7:1180–1191. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00678.x>

Jetz W, Thomas GH, Joy JB, et al (2014) Global Distribution and Conservation of Evolutionary Distinctness in Birds. *Curr Biol* 24:919–930. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.011>

Jin Y, Qian H (2019) V.PhyloMaker: an R package that can generate very large phylogenies for vascular plants. *Ecography (Cop)* 1–7. <https://doi.org/10.1111/ecog.04434>

Jones KE, Purvis A, Gittleman JL (2003) Biological correlates of extinction risk in bats. *Am Nat* 161:601–614. <https://doi.org/10.1086/368289>

Kembel SW, Cowan PD, Helmus MR, et al (2010) Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics* 26:1463–1464. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq166>

Klink CA, Machado RB (2005) A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1:147–155

Kufner DCL, Guglieri A, Scremin-Dias E, Pott VJ (2008) Florística do Estrato Herbáceo-Subarbustivo de uma Área Úmida de Cerrado em Mato Grosso do Sul, Brasil. *An. do IX Simpósio Nac. Cerrado. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre Soc. agronegócio e Recur. naturais, II Simpósio Int. Savanas Trop.* 1–7

Kukkala AS, Moilanen A (2013) Core concepts of spatial prioritisation in systematic conservation planning. *Biol Rev* 88:443–464. <https://doi.org/10.1111/brv.12008>

Labouriau LG (1966) Revisao da situação da ecologia vegetal nos cerrados. In: Labouriau LG (org) *Simpósio sobre o Cerrado, Suplemento. Anais da Academia Brasileira de Ciências*, p 5–38

Lahsen M, Bustamante MMC, Dalla-Nora EL (2016) Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. *Environment* 58:4–15. <https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1229537>

Lima NE de, Lima-Ribeiro MS, Tinoco CF, et al (2014) Phylogeography and ecological niche modelling, coupled with the fossil pollen record, unravel the demographic history of a Neotropical swamp palm through the Quaternary. *J Biogeogr* 41:673–686. <https://doi.org/10.1111/jbi.12269>

Lima RAF de, Rando JG, Barreto KD (2015) Composição e diversidade no cerrado do leste de mato Grosso Do Sul, Brasil. *Rev Arvore* 39:9–24. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100002>

Loik ME, Nobel P. (1993) Freezing tolerance and water relations of *Opuntia fragilis* from Canada and the United States. *Ecology* 74:1722–1732

Loik ME, Redar SP (2003) Microclimate, freezing tolerance, and cold acclimation along an elevation gradient for seedlings of the Great Basin Desert shrub, *Artemisia tridentata*. *J Arid Environ* 54:769–782. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1106>

Lyons KG, Brigham CA, Traut BH, Schwartz MW (2005) Rare species and ecosystem functioning. *Conserv Biol* 19:1019–1024. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00106.x>

Marimon BS, De E, Duarte TG, et al (2006) Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado-Amazonian forest ecotone. *Edinburgh J Bot* 63:323–341. <https://doi.org/10.1017/S0960428606000576>

Martinelli G, Messina T, Filho LS (2014) Livro Vermelho da Flora do Brasil - Plantas Raras do Cerrado, 1o edn. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro-CNCFlora, Rio de Janeiro

Méio BB, Freitas C V., Jatobá L, et al (2003) Influência da flora das florestas Amazônica e Atlântica na vegetação do cerrado sensu stricto. *Rev Bras Botânica* 26:437–444. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042003000400002>

Meirelles ML, Oliveira RC De, Vivaldi LJ, et al (2002) Espécies do Estrato Herbáceo e Profundidade do Lençol Freático em Áreas Úmidas do Cerrado. Embrapa Cerrados, Planaltina

Mendes M, Silva Júnior M, Castro A, et al (2014) Temporal change in species and functional plant traits in the moist grassland on the Sete Cidades National Park, Piauí, Brazil. *Brazilian J Biol* 74:111–123. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.18812>

Mendes MRA, Munhoz CBR, Silva Júnior MC, Castro AAJF (2012) Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. *Rodriguesia* 63:971–984. <https://doi.org/10.1590/s2175-78602012000400014>

Mendonça RC de, Felfili JM, Walter BMT, et al (2008) Flora Vascular do Bioma Cerrado – Checklist com 12.356 espécies. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (orgs) *Cerrado: ecologia e flora*. Vol. 2, 1a. Embrapa Cerrado, Brasília, p 222–1279

Mendonça RC, Felfili JM, Fagg CW, Silva MA (2001) Análise florística da Chapada do Espigão Mestre do São Francisco. p 74–79

Miranda EE de, Magalhães LA, Carvalho CA de (2014) Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA - Nota Técnica. Embrapa, Campinas, SP

Mittermeier RA, Turner WR, Larsen FW, et al (2011) Global Biodiversity Conservation: The Critical Role of Hotspots. In: *Biodiversity Hotspots*. Springer Berlin Heidelberg, p 3–22

MMA (2019) Ministério do Meio Ambiente. <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Accessed 30 set 2019

Morellato LPC, Silveira FAO (2018) Plant life in campo rupestre: New lessons from an ancient biodiversity hotspot. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants* 238:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.12.001>

Moro RS, Carmo MRB do (2010) A vegetação campestre nos Campos Gerais. In: MELO MS, MORO RS, GUIMARÃES GB (orgs) *Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná*. UEPG, Ponta Grossa, p 93–98

Munhoz CBR, Felfili JM (2006) Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma área de campo sujo no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 20:671–685. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000300017>

Munhoz CBR, Felfili JM (2007) Florística do estrato herbáceo-subarbustivo de um campo limpo úmido em Brasília, Brasil. *Biota Neotrop* 7:205–215

Munhoz CBR, Felfili JM (2005) Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 19:979–988

Myers N, Mittermeyer RA, Mittermeyer CG, et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Neves DM, Dexter KG, Pennington RT, et al (2015) Environmental and historical controls of floristic composition across the South American Dry Diagonal. *J Biogeogr* 42:1566–1576. <https://doi.org/10.1111/jbi.12529>

Novaes RML, Lemos-Filho JP, Ribeiro RA, Lovato MB (2010) Phylogeography of *Plathymeria reticulata* (Leguminosae) reveals patterns of recent range expansion towards northeastern Brazil and southern Cerrados in Eastern Tropical South America. *Mol Ecol* 19:985–998. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04530.x>

Novaes RML, Ribeiro RA, Lemos-Filho JP, Lovato MB (2013) Concordance between phylogeographical and biogeographical patterns in the Brazilian Cerrado: Diversification of the endemic tree *Dalbergia miscolobium* (Fabaceae). *PLoS One* 8:e82198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082198>

Oliveira-Filho AT, Budke JC, Jarenkow JA, et al (2014) Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *J Plant Ecol* 8:242–260. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtt058>

Oliveira-Filho AT, Ratter JA (1995) A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinburgh J Bot* 52:141–194. <https://doi.org/10.1017/S0960428600000949>

Oliveira-Filho AT de, Ratter JA (2002) Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In: Oliveira PS, Marquis RJ (orgs) *The Cerrados of Brazil - Ecology and*

Natural History of a Neotropical Savanna, 1a. Columbia University Press, New York, p 91–120

Oliveira AKM, Resende UM, Schleder EJD (2014) Espécies vegetais e suas síndromes de dispersão em um remanescente de cerrado (sentido restrito) do município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. *Ambiência* 10:565–580. <https://doi.org/10.5935>

Oliveira U, Soares-Filho BS, Paglia AP, et al (2017) Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. *Sci Rep* 7:. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08707-2>

Overbeck GE, Vélez-Martin E, Scarano FR, et al (2015) Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Divers Distrib* 21:1455–1460. <https://doi.org/10.1111/ddi.12380>

Pontara V, Bueno M, Rezende V, et al (2018) Evolutionary history of campo Rupestre: An approach for conservation of woody plant communities. *Biodivers Conserv* 27:2877–2896. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1574-2>

Pugliesi L, Rapini A (2015) Tropical Refuges with Exceptionally High Phylogenetic Diversity Reveal Contrasting Phylogenetic Structures. *Int J Biodivers* 2015:1–17. <https://doi.org/10.1155/2015/758019>

Purvis A, Agapow PM, Gittleman JL, Mace GM (2000) Nonrandom extinction and the loss of evolutionary history. *Science* (80-) 288:328–330. <https://doi.org/10.1126/science.288.5464.328>

Qian H, Jin Y (2016) An updated megaphylogeny of plants, a tool for generating plant phylogenies and an analysis of phylogenetic community structure. *J Plant Ecol* 9:233–239. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv047>

R Development Core Team R (2018) R: A language and environment for statistical computing

Ramos MVV, Curi N, Motta PEF da, et al (2006) Veredas do triângulo mineiro: solos, água e uso. *Ciência e Agrotecnologia* 30:283–293. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542006000200014>

Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S, Pirani JR (2008) A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4:15–23

Ratter JA, Bridgewater S, Ribeiro JF (2003) Analysis of the Floristic Composition of the Brazilian Cerrado Vegetation III: Comparison of the Woody Vegetation of 376 Areas. *Edinburgh J Bot* 60:57–109. <https://doi.org/10.1017/s0960428603000064>

Redding DW, Dewolff C V., Mooers A (2010) Evolutionary distinctiveness, threat status, and ecological oddity in primates. *Conserv Biol* 24:1052–1058. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01532.x>

Redding DW, Hartmann K, Mimoto A, et al (2008) Evolutionarily distinctive species often capture more phylogenetic diversity than expected. *J Theor Biol* 251:606–615. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.12.006>

Redding DW, Mooers AO (2010) Can Systematists help decide the relative worth of bits of biodiversity? *Syst* 32:4–8

REFLORA Flora do Brasil 2020 em construção. In: Jard. Botânico do Rio Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Accessed 18 fev 2020

REFLORA s.d. Lista de Espécies da Flora do Brasil. In: Jard. Botânico do Rio Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Accessed 13 nov 2017

Reusch TBH, Ehlers A, Hä A, Worm B (2005) Ecosystem recovery after climatic extremes enhanced by genotypic diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 102, n. 8, p. 2826–2831. 2005. <https://doi.org/10.1073/pnas.0500008102>

Rezende VL, Dexter KG, Pennington RT, Oliveira-Filho AT (2017) Geographical variation in the evolutionary diversity of tree communities across southern South America. *J Biogeogr* 44:2365–2375. <https://doi.org/10.1111/jbi.13013>

Ribas CC, Miyaki CY, Cracraft J (2009) Phylogenetic relationships, diversification and biogeography in Neotropical *Brotogeris* parakeets. *J Biogeogr* 36:1712–1729. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02131.x>

Ribeiro JF, Walter BMT (1998) Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP de (orgs) *Cerrado : ambiente e flora*. Embrapa Cerrados, Planaltina, p 87–166

Ribeiro JF, Walter BMT (2008) As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (orgs) *Cerrado: ecologia e flora*. Vol. 1. Embrapa Cerrados, Brasília, p 152–212

Rizzini CT (1997) *Tratado de Fitogeografia do Brasil*, 2.a. Âmbito Cultural Edições Ltda, Rio de Janeiro

Roderjan CV, Galvão F, Kuniyoshi YS, Hatschbach GG (2002) As unidades fitogeográficas do estado do paraná, brasil. *Ciência Ambient* 24:75–92

Rosauer D, Laffan SW, Crisp MD, et al (2009) Phylogenetic endemism: A new approach for identifying geographical concentrations of evolutionary history. *Mol Ecol* 18:4061–4072. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04311.x>

Rosatto DR (2014) Spatial patterns of species richness and phylogenetic diversity of woody plants in the neotropical savannas of Brazil. *Rev Bras Bot* 37:283–292. <https://doi.org/10.1007/s40415-014-0070-5>

- Rylands AB, Brandon K (2005) Brazilian Protected Areas. *Conserv Biol* 19:612–618
- Salgado-Labouriau ML (2005) Alguns aspectos sobre a Paleoeologia dos Cerrados. In: Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (orgs) *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 107–118
- Salgado-Labouriau ML, Casseti V, Ferraz-Vicentini KR, et al (1997) Late quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from Central Brazil. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 128:215–226. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00018-1)
- Sánchez-Cordero V, Cirelli V, Mungui M, Sarkar S (2005) Place prioritization for biodiversity content using species ecological niche modeling. *Biodivers Informatics* 2:11–23. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.9>
- Sano EE, Rosa R, Brito JLS, et al (2010) Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Env Monit Assess* 166:113–124. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>
- Sano EE, Rosa R, Scaramuzza CA de M, et al (2019) Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. *Pesqui Agropecu Bras* 54:. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00138>
- Sarmiento G, Monasterio M (1983) Life forms and phenology. In: Bourliere F (org) *Ecosystems of the World XIII. Tropical Savannas*. Elsevier, Amsterdam, p 79–108
- Sawyer D, Lahsen M (2016) Civil society and environmental change in Brazil's Cerrado. *Environ. Sci. Policy Sustain. Dev.* 58:16–23
- Scariot A, Sousa-Silva JC, Felfili JM (2005) *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília
- Sgrò CM, Lowe AJ, Hoffmann AA (2011) Building evolutionary resilience for conserving biodiversity under climate change. *Evol Appl* 4:326–337. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00157.x>
- Silberbauer-Gottsberger I, Morawetz W, Gottsberger G (1977) Frost Damage of Cerrado Plants in Botucatu, Brazil, as Related to the Geographical Distribution of the Species. *Biotropica* 9:253–261
- Silva IA, Batalha MA (2010) Woody plant species co-occurrence in Brazilian savannas under different fire frequencies. *Acta Oecologica* 36:85–91. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2009.10.004>
- Simon MF, Grether R, De Queiroz LP, et al (2009) Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106:20359–20364. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106>

Simon MF, Pennington T (2012) Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. *Int. J. Plant Sci.* 173:711–723

Soares-Filho B, Rajão R, Macedo M, et al (2014) Cracking Brazil's Forest Code. *Science* (80-) 344:363–364. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>

Souza-Neto AC, Cianciaruso M V., Collevatti RG (2016) Habitat shifts shaping the diversity of a biodiversity hotspot through time: Insights from the phylogenetic structure of Caesalpinioideae in the Brazilian Cerrado. *J Biogeogr* 43:340–350. <https://doi.org/10.1111/jbi.12634>

Srivastava DS, Cadotte MW, Macdonald AAM, et al (2012) Phylogenetic diversity and the functioning of ecosystems. *Ecol Lett* 15:637–648. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01795.x>

Srivastava DS, Vellend M (2005) Biodiversity-ecosystem function research: Is it relevant to conservation? *Annu Rev Ecol Evol Syst* 36:267–294. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152636>

Strassburg BBN, Brooks T, Feltran-Barbieri R, et al (2017) Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nat Ecol Evol* 1:1–3. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

Swenson NG (2014) Integrating R with Other Phylogenetic and Functional Trait Analytical Software. p 189–201

Swenson NG (2009) Phylogenetic resolution and quantifying the phylogenetic diversity and dispersion of communities. *PLoS One* 4:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004390>

Thompson JN, Reichman OJ, Morin PJ, et al (2001) Frontiers of Ecology. *Bioscience* 51:15. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0015:foe\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0015:foe]2.0.co;2)

Thuiller W, Maiorano L, Mazel F, et al (2015) Conserving the Functional and Phylogenetic Trees of Life of European Tetrapods. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 370:1–12. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0005>

TNRS The Taxonomic Name Resolution Service. In: iPlant Collab. Version 4.0. from: <http://tnrs.iplantcollaborative.org>. Accessed 9 abr 2019

Trovó M, De Andrade MJG, Sano PT, et al (2013) Molecular phylogenetics and biogeography of Neotropical Paepalanthoideae with emphasis on Brazilian Paepalanthus (Eriocaulaceae). *Bot J Linn Soc* 171:225–243. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01310.x>

Tucker CM, Cadotte MW (2013) Unifying measures of biodiversity: Understanding when richness and phylogenetic diversity should be congruent. *Divers Distrib* 19:845–854. <https://doi.org/10.1111/ddi.12087>

Tucker CM, Cadotte MW, Davies TJ, Rebelo TG (2012) Incorporating Geographical and Evolutionary Rarity into Conservation Prioritization. *Conserv Biol* 26:593–601. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01845.x>

Uhlmann A, Galvão F, Silva SM (1998) Análise da estrutura de duas unidades fitofisionômicas de savana (cerrado) no sul do Brasil. *Acta Bot Brasilica* 12:231–247. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061998000300005>

Veron S, Clergeau P, Pavoine S (2016) Loss and conservation of evolutionary history in the Mediterranean Basin. *BMC Ecol* 16:1–15. <https://doi.org/10.1186/s12898-016-0099-3>

Von Linsingen L, Sonehara J de S, Uhlmann A, Cervi A (2006) Composição florística do Parque Estadual do Cerrado de Jaguariaíva, Paraná, Brasil | von Linsingen | *Acta Biológica Paranaense*. 197–232

Vuono YS, Barbosa LM, Batista E.A., Gurgel Filho OA (1982) Efeitos biológicos da geada na vegetação do cerrado. In: *Silvicultura em Sao Paulo*, 1o edn. Edição dos Anais do Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 1982, Campos do Jordão, São Paulo, p 545–547

Webb CO (2000) Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: An example for rain forest trees. *Am Nat* 156:145–155. <https://doi.org/10.1086/303378>

Webb CO, Ackerly DD, Kembel SW (2008) Phylocom: Software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. *Bioinformatics* 24:2098–2100. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn358>

Webb CO, Ackerly DD, McPeck M a., Donoghue MJ (2002) Phylogenies and Community Ecology. *Annu Rev Ecol Syst* 33:475–505. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150448>

Werneck FP, Nogueira C, Colli GR, et al (2012) Climatic stability in the Brazilian Cerrado: Implications for biogeographical connections of South American savannas, species richness and conservation in a biodiversity hotspot. *J Biogeogr* 39:1695–1706. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2012.02715.x>

Winter M, Schweiger O, Klotz S, et al (2009) Plant extinctions and european flora.pdf. 106:

Xu Y, Shen Z, Ying L, et al (2017) Hotspot analyses indicate significant conservation gaps for evergreen broadleaved woody plants in China. *Sci Rep* 7:1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02098-0>

Zappi DC, Moro MF, Meagher TR, Lughadha EN (2017) Plant biodiversity drivers in brazilian campos rupestres: Insights from phylogenetic structure. *Front Plant Sci* 8: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02141>

CONCLUSÃO GERAL

Uma vez que a flora do estrato herbáceo-subarbusivo ainda é pouco estudada ecologicamente, a integração de dados espaciais de diversidade filogenética pode contribuir para otimizar as ações de conservação de sua diversidade. Os resultados obtidos nesse estudo sugerem que a temperatura, a estacionalidade e o teor de carbono orgânico disponível no solo são variáveis importantes para a distribuição dessa flora e não podem ser separados dos fatores espaciais. A grande heterogeneidade de habitats presentes por toda a extensão do Cerrado e pode ter grande influência na estruturação de suas comunidades em escala espacial ampla e na alta diversidade de espécies herbáceo-subarbusivas desse bioma. Também verificamos que essa flora apresenta grande diversidade de linhagens e uma gama de traços filogenéticos que parecem ter propiciado a exploração, permanência e propagação de suas espécies nos mais diversos ambientes. Priorizar áreas com alta diversidade filogenética e proteger o potencial de diversificação parece ser uma estratégia bastante eficiente, em adição à tradicional vertente que analisa somente na riqueza taxonômica ao escolher novas áreas para conservação. Por essa razão, os grids *hotspots* fora das unidades de conservação de proteção integral (UCPIs) devem receber especial atenção e maiores esforços devem ser direcionados às áreas onde houve a sobreposição de grids *hotspots* que emergiram do presente estudo e estão sob constante ameaça. A falta de informações sobre as espécies do estrato herbáceo-subarbusivo pode estar contribuindo para seu negligenciamento.

APÊNDICE (S)

Apêndice A – Tabela com as variáveis geoclimáticas empregadas para as análises da partição de variância.

Variáveis	Descrição dos preditores usados (Description of the predictors used)
Edáficas (Edaphic)	● Derived properties - Available in: https://www.isric.org/explore/soilgrids - SoilGrids250m – Absolute Depth to bedrock (R horizon) (in cm) - SoilGrids250m - Probability of occurrence of R horizon (in cm) - SoilGrids250m - Depth to bedrock (R horizon) (in cm) - SoilGrids250m - Soil organic carbon stock (toneladas por ha) - SoilGrids250m - Derived available soil water capacity (volum. fraction) until wilting point
	● Physical Property of Soil - Available in: https://www.isric.org/explore/soilgrids - SoilGrids250m - Bulk density (fine earth) (cg/cm³) - SoilGrids250m - Clay content (0-2 micron) mass fraction (fraction in % - g/kg) - SoilGrids250m - Silt content (2-50 micron) mass fraction (fraction in % - g/kg) - SoilGrids250m - Sand content (50-2000 micron) mass fraction (fraction in % - g/kg)
	● Chemical Properties of Soil - Available in: https://www.isric.org/explore/soilgrids - SoilGrids250m - Cation exchange capacity (CEC) (cmolc/kg) - SoilGrids250m - Soil organic carbon content (fine earth fraction) (g por Kg) - SoilGrids250m - Soil pH in H2O (pH*10)
	● Terrain - Available in: http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/en/ - Global elevation (meters) - Grass cover - Forest cover
Climáticas (Climate)	● Bioclimatic - Available in: https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html - Solar radiation (kJ m⁻² day⁻¹) - BIO1 = Annual mean temperature (The mean of all weekly mean temp. over a year) - BIO2 = Mean diurnal range (Mean of monthly (max temp. - min temp.)) - BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (×100) - BIO4 = Temperature Seasonality (standard deviation ×100) - BIO5 = Max Temperature of Warmest Month - BIO6 = Min Temperature of Coldest Month - BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6) - BIO8 = Mean Temperature of Wettest Quarter - BIO9 = Mean Temperature of Driest Quarter - BIO10 = Mean Temperature of Warmest Quarter - BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter - BIO12 = Total annual precipitation - BIO13 = Precipitation of Wettest Month - BIO14 = Precipitation of Driest Month - BIO15 = Precipitation seasonality (coefficient of variation) - BIO16 = Precipitation of Wettest Quarter - BIO17 = Precipitation of Driest Quarter - BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter - BIO19 = Precipitation of coldest quarter
	● Evapotranspiration and Aridity - Available in: https://cgiarcsi.community/ - Potential evapotranspiration - 30 arc seconds (~ 1km at the equator) - Actual evapotranspiration - 30 arc seconds (~ 1km at the equator) - Aridity Index - 30 arc seconds (~ 1km at the equator)
	● Cloud cover - Available in: https://www.earthenv.org/cloud - Cloud cover (The datasets integrate 15 years of twice-daily remote sensing-derived cloud observations at 1-km resolution)
Espaciais (Spatial)	● Geographic coordinates - extracted from the site: https://www.gbif.org/ - Latitude and Longitude

Fonte: Aloirta W.Castilho Silva

Apêndice B – Tabela com as 30 famílias mais ricas da flora herbáceo-subarbusativa do Cerrado com os seus números de espécies e gêneros. Os gêneros mais representativos de cada família e o seu número de espécies.

FAMÍLIAS (ESPÉCIES- GÊNEROS)	GÊNEROS (ESPÉCIES)
Asteraceae (458 - 112)	<i>Lessingianthus</i> (42)
Poaceae (428 - 92)	<i>Paspalum</i> (91)
Fabaceae (385 - 28)	<i>Chamaecrista</i> (81)
Orchidaceae (311 - 75)	<i>Habenaria</i> (71)
Eriocaulaceae (244 - 6)	<i>Paepalanthus</i> (106)
Cyperaceae (230 - 16)	<i>Rhynchospora</i> (70)
Lamiaceae (180 - 22)	<i>Hyptis</i> (72)
Euphorbiaceae (175 - 12)	<i>Croton</i> (63)
Melastomataceae (151 - 21)	<i>Microlicia</i> (53)
Malvaceae (130 - 22)	<i>Sida</i> (22)
Lythraceae (127 - 4)	<i>Diplusodon</i> (70)
Bromeliaceae (124 - 18)	<i>Dyckia</i> (35)
Rubiaceae (111 - 23)	<i>Declieuxia</i> (22)
Velloziaceae (101 - 2)	<i>Vellozia</i> (65)
Convolvulaceae (89 - 5)	<i>Evolvulus</i> (45)
Polygalaceae (87 - 5)	<i>Polygala</i> (64)
Acanthaceae (77 - 11)	<i>Ruellia</i> (27)
Amaranthaceae (74 - 14)	<i>Gomphrena</i> (27)
Xyridaceae (74 - 2)	<i>Xyris</i> (71)
Verbenaceae (64 - 9)	<i>Lippia</i> (27)
Araceae (60 -16)	<i>Philodendron</i> (16)
Passifloraceae (58 - 3)	<i>Turnera</i> (40)
Apocynaceae (53 -15)	<i>Mandevilla</i> (10)
	<i>Minaria</i> (10)
Malpighiaceae (43 - 10)	<i>Byrsonima</i> (10)
Iridaceae (42 - 9)	<i>Pseudotrimezia</i> (13)
Plantaginaceae (41- 10)	<i>Angelonia</i> (11)
	<i>Bacopa</i> (11)
Lentibulariaceae (40 - 2)	<i>Utricularia</i> (33)
Gentianaceae (38 - 9)	<i>Schultesia</i> (12)
Piperaceae (36 - 2)	<i>Peperomia</i> (31)
Santalaceae (36 - 2)	<i>Phoradendron</i> (34)

Fonte: Aloirta W.Castilho Silva

Apêndice C – Tabela com os 30 gêneros com maior números de espécies da flora herbáceo-subarbustiva do Cerrado.

GÊNEROS	Nº ESPÉCIES	FAMÍLIAS
<i>Paepalanthus</i>	106	Eriocaulaceae
<i>Paspalum</i>	91	Poaceae
<i>Chamaecrista</i>	81	Fabaceae
<i>Mimosa</i>	74	Fabaceae
<i>Hyptis</i>	72	Lamiaceae
<i>Habenaria</i>	71	Orchidaceae
<i>Xyris</i>	71	Xyridaceae
<i>Diplusodon</i>	70	Lythraceae
<i>Rhynchospora</i>	70	Cyperaceae
<i>Vellozia</i>	65	Velloziaceae
<i>Polygala</i>	64	Polygalaceae
<i>Croton</i>	63	Euphorbiaceae
<i>Cuphea</i>	55	Lythraceae
<i>Microlicia</i>	53	Melastomataceae
<i>Evolvulus</i>	45	Convolvulaceae
<i>Cyperus</i>	44	Cyperaceae
<i>Lessingianthus</i>	42	Asteraceae
<i>Syngonanthus</i>	40	Eriocaulaceae
<i>Turnera</i>	40	Passifloraceae
<i>Barbacenia</i>	36	Velloziaceae
<i>Dyckia</i>	35	Bromeliaceae
<i>Scleria</i>	35	Cyperaceae
<i>Manihot</i>	34	Euphorbiaceae
<i>Phoradendron</i>	34	Santalaceae
<i>Oxalis</i>	33	Oxalidaceae
<i>Utricularia</i>	33	Lentibulariaceae
<i>Bulbostylis</i>	31	Cyperaceae
<i>Calea</i>	31	Asteraceae
<i>Peperomia</i>	31	Piperaceae
<i>Arachis</i>	30	Fabaceae

Fonte: Aloirta W.Castilho Silva