

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

The background features a large, semi-transparent watermark of the UNEMAT logo. It consists of a shield with a green top section containing the text 'UNEMAT' in white. Below this is a white section with a green circular emblem. The shield is flanked by two flags and topped with three lit torches. A red banner at the bottom of the shield contains the Latin motto 'UNIVERSITATE OMNIUM'.

**Preditores ambientais e padrões de diversidade de comunidades de espécies
lenhosas de savanas neotropicais sobre substratos distintos**

Ana Clara Abadia Rodrigues de Sousa

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ecologia e Conservação.

Orientador: Dr. Eddie Lenza de Oliveira

Coorientadores: Dr. Henrique Augusto Mews

Dr. Fabrícus Maia Chaves Bicalho Domingos

Nova Xavantina-MT
Abril, 2020

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

**Preditores ambientais e padrões de diversidade de comunidades de espécies
lenhosas de savanas neotropicais sobre substratos distintos**

Ana Clara Abadia Rodrigues de Sousa

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ecologia e Conservação.

Orientador: Dr. Eddie Lenza de Oliveira

Coorientadores: Dr. Henrique Augusto Mews

Dr. Fabrícus Maia Chaves Bicalho Domingos

Nova Xavantina-MT

Abril, 2020

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES – código financeiro 001) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT)

This study was partially funded by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brazilian Ministry of Education (CAPES – Finance code 001)) and FAPEMAT.

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

SOUSA, Ana Clara Abadia Rodrigues de.

S725p Preditores Ambientais e Padrões de Diversidade de Comunidades de Espécies Lenhosas de Savanas Neotropicais Sobre Substratos Distintos / Ana Clara Abadia Rodrigues de Sousa – Nova Xavantina, 2020.

127 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Tese/Doutorado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Doutorado) Ecologia e Conservação, Faculdade de Ciências Agrárias Biológicas e Sociais Aplicadas, Câmpus de Nova Xavantina, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2020.

Orientador: Eddie Lenza de Oliveira

Coorientador: Henrique Augusto Mews

1. Savana. 2. Heterogeneidade de Habitats. 3. Preditores Ambientais. 4. Diversidade Beta. 5. Propriedades Edáficas. I. Ana Clara Abadia Rodrigues de Sousa. II. Preditores Ambientais e Padrões de Diversidade de Comunidades de Espécies Lenhosas de Savanas Neotropicais Sobre Substratos Distintos: .

CDU 581.5(251)

TERMO DE APROVAÇÃO

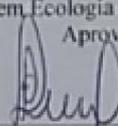
Preditores ambientais e padrões de diversidade de comunidades de espécies lenhosas de savanas neotropicais sobre substratos distintos

Ana Clara Abadia Rodrigues de Sousa

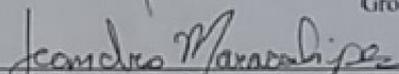
Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ecologia e Conservação.

Aprovada em 17 de abril de 2020.

Banca Examinadora:



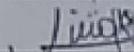
Prof. Dr. Eddie Lenza de Oliveira
(Orientador) Universidade do Estado de Mato Grosso



Prof. Dr. Leandro Maracahipes dos Santos
(Membro titular-Externo) Rede CLIMA



Prof. Dr. Paulo Sérgio Morandi
(Membro titular) Universidade do Estado de Mato Grosso



Profa. Dra. Simone Matias Almeida Reis
(Membro titular) University of Oxford



Profa. Dra. Leticia Gomes da Silva
(Membro titular) Universidade de Brasília

Profa. Dra. Renata Dias França Brandão
(Membro suplente-Externo) Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. Marco Túlio Rodrigues Furtado
(Membro suplente-Externo) Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

Prof. Dr. Fabiano Côrrea
(Membro suplente) Universidade do Estado de Mato Grosso

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eddie Lenza e ao Prof. Dr. Henrique Mews pela confiança, amizade, dedicação e paciência. Obrigada pela grande contribuição na minha formação profissional e pessoal. Agradeço também ao Dr. Fabricius Domingos Bicalho pelo apoio e orientação.

Aos Profs. Drs. Leandro Maracahipes e Ricardo Rodrigues Silveira-Filho pelas valiosas contribuições na banca avaliadora do Exame de Qualificação.

Aos Profs. Drs. Leandro Maracahipes, Paulo Sérgio Morandi, Simone Matias Almeida Reis e Leticia Gomes da Silva por aceitarem compor minha banca de defesa e contribuir para a melhoria de minha tese.

Ao Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto pelas contribuições nos manuscritos e ao Prof. Dr. Thiago Bernardi pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, *campus* de Nova Xavantina pelas oportunidades que tive durante o Mestrado e Doutorado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível concluir esse curso. À todos os pesquisadores brasileiros, que mesmo diante do desmonte da ciência e das instituições públicas, se mantêm dedicados às suas pesquisas. Agradeço imensamente a todos os brasileiros, que financiaram minha formação desde minha graduação. À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação profissional e pessoal. Obrigada!

Aos amigos do LECOT e da pós-graduação: sou grata pelo conhecimento compartilhado, pela convivência divertida e pelos momentos de desabafo e angústia compartilhados. Aos meus amigos, que aguentaram e me aconselharam durante meus momentos de crise.

Ao meu pai Ederly, que mesmo não estando mais presente, sempre me apoiou de forma incondicional em todas as minhas escolhas! E à minha avó Izinha, pelo exemplo de mulher forte e guerreira, que não fugia a luta! À minha mãe Irene e aos meus irmãos (Carol, Emanuel e Alail) por sempre me entenderem, apoiarem e incentivarem, mesmo que eu estivesse ausente e indisponível em diversos momentos. Ao Jefferson, pelo carinho, companheirismo, compreensão e incentivo durante esse longo caminho... Sou muito grata por ter vocês!

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	4
CAPÍTULO 1 – Limiares ecológicos: como as condições ambientais modulam a variação na composição de espécies lenhosas em savanas neotropicais?	
1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1. <i>Área de estudo</i>	11
2.2. <i>Coleta de dados e seleção de variáveis preditoras</i>	15
2.3. <i>Análise de dados</i>	15
3. RESULTADOS	16
4. DISCUSSÃO	24
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
CAPÍTULO 2. Quais são os padrões e os mecanismos promotores da diversidade beta de comunidades de plantas lenhosas em savanas neotropicais sobre distintos substratos?.....	
1. INTRODUÇÃO.....	34
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
2.1. <i>Área de estudo</i>	36
2.2. <i>Coleta de dados</i>	39
2.3. <i>Preparação</i>	39
3. RESULTADOS	40
4. DISCUSSÃO.....	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
6. CONCLUSÕES GERAIS	55
7. APÊNDICES	56

RESUMO GERAL

No bioma Cerrado, a riqueza, a composição e a estrutura da vegetação lenhosa podem ser influenciadas por fatores climáticos, edáficos, topográficos e pelo fogo que atuam em diferentes escalas espaciais. Isso ocorre, principalmente, entre ambientes cujos solos são marcadamente distintos, como por exemplo, o Cerrado Típico (CT) que ocorre sobre solos planos, profundos e bem drenados, em relação ao Cerrado Rupestre (CR) que se estabelece em relevo acidentado, solos rasos e com afloramento rochoso. Neste estudo, investigamos como as plantas lenhosas desses dois ambientes savânicos, distinguíveis pelo tipo de substrato, respondem as características locais (propriedades edáficas) e aos gradientes ambientais regionais (climáticos e topográficos). Além disso, comparamos os dois ambientes quanto aos efeitos dos preditores ambientais sobre as variações na composição e na diversidade beta de espécies lenhosas. Mostramos que os ambientes CT e CR apresentam diferentes limiares ecológicos e pontos de mudanças a nível comunitário e populacional, considerando as plantas lenhosas, tanto em escala regional quanto local. Nossos resultados revelaram também uma dissimilaridade local da flora lenhosa de CT e CR, embora os preditores ambientais (edáficos e climáticos) não tenham diferido entre esses ambientes. Por fim, constatamos que a diversidade beta da flora lenhosa entre os sítios de ambos os ambientes é predominantemente determinada pela *turnover*, sendo que os sítios mais marginais e centrais do bioma foram aqueles que mais contribuíram para a diversidade beta. Nossos resultados demonstraram que a variabilidade edáfica e topográfica em escala local nesses ambientes parece ter sido mais efetiva para explicar as variações nas respostas das comunidades do que os preditores climáticos. A elevada diversidade beta observada nesse estudo pode ser um reflexo da alta variação florística das plantas lenhosas, que apresentam flora singular entre os locais amostrados, em função de suas características geográficas e topográficas.

Palavras-chave: savana; heterogeneidade de habitats; preditores ambientais; diversidade beta; propriedades edáficas.

ABSTRACT GERAL

In Cerrado biome, the richness, composition and structure of woody vegetation can be influenced by several factors that act at different spatial scales. This occurs, mainly between physiognomies whose soils are markedly distinct, for example, the Typical Cerrado (TC) occurs on flat, deep and well-drained soils, while the Rupestrian Cerrado (RC) is established in rugged relief, shallow and with rocky outcropping soils. In this study, we investigate how woody plants are distributed in these two savanna environments, distinguishable by the type of substrate on which they occur, respond to gradients of regional (climatic and topographic) and local (edaphic properties) predictors, and establish ecological thresholds and points of change at the community and population level. We also compared the two environments regarding the effects of environmental predictors on variations in the composition and beta diversity of woody species. We show that the TC and RC environments have different ecological thresholds and points of change at community and population levels considering woody plants, both on a regional and local scale. We also evidence that there is a clear dissimilarity of the woody flora between TC and RC savannas, although the environmental predictors (edaphic, climatic and topographic) did not differ between these environments. Finally, we found that the beta diversity of the woody flora between the sites in both environments is predominantly determined by the substitution of species, with the most marginal and central sites in the Biome being those that contributed most to the beta diversity. Our results demonstrate that the edaphic and topographic variability on a local scale in these environments seems to have been more effective to explain variations in community responses than climatic predictors. We believe that the high beta diversity reflects the high floristic variation of woody plants, which have unique flora between the sampled places, due to their geographic and topographic characteristics, and not only due to environment characteristics.

Keywords: savanna; habitat heterogeneity; environmental predictors; beta diversity; edaphic properties.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As savanas são ecossistemas caracterizados pela coexistência de um estrato graminoso-herbáceo contínuo e um estrato arbustivo-arbóreo descontínuo (Scholes e Archer 1997; Sankaran et al. 2005). Essas cobrem um sexto da superfície terrestre e são responsáveis por cerca de 30% da produtividade primária líquida terrestre, com valores semelhantes às das florestas tropicais, apesar de armazenarem menos carbono (Grace et al. 2006). Nos trópicos, as savanas ocorrem em mais de 30 países e cobrem entre 15 e 24,6 milhões km² na América do Sul, África e Ásia (Silva e Bates 2002; Lehmann et al. 2014). Devido à sua ampla extensão e complexidade, as savanas tropicais apresentam grande heterogeneidade de habitats (Collinson 1988; Young e Solbrig 1993) e ocorrem tanto em áreas montanhosas quanto planas, e sobre diferentes tipos de solos (Collinson 1988). Na América do Sul, a maior área de savana neotropical é constituída pelo Cerrado (Klink e Machado 2005; Sano et al. 2010), o qual tem sua ocorrência coincidente com a porção central do Brasil.

O Cerrado abriga ampla variedade de tipos vegetacionais (Silva et al. 2006), o que inclui formações florestais, savânicas e campestres (Ribeiro e Walter 2008) e possui a maior biodiversidade vegetal dentre todas as savanas mundiais, considerado assim como um “*hotspot*” para conservação (Myers et al. 2000). Apesar de sua importância para a conservação de espécies e prestação de serviços ecossistêmicos, o Cerrado já perdeu 46% de sua cobertura vegetal nativa, e apenas cerca de 20% permanece inalterado (Strassburg et al. 2017), sendo que a maior parte da cobertura nativa remanescente é encontrada em áreas de montanhas, onde o relevo é íngreme e com afloramentos rochosos e o acesso do maquinário agrícola é limitado. Em contraste, as fisionomias savânicas que ocorrem sobre solos profundos e relevo plano são as mais ameaçadas pela supressão da vegetação nativa, uma vez que são preferidas para as atividades agropecuárias (Carvalho et al. 2009; Sano et al. 2010).

Nestes ambientes savânicos, a composição, a diversidade e a estrutura da vegetação lenhosa de ambientes savânicos podem ser influenciadas por diferentes fatores que atuam em diferentes escalas espaciais. Em escalas mais amplas, a altitude (Castro et al. 1999; Ratter et al. 2003; Silva et al. 2006; Santos et al. 2012), o relevo (Silva et al. 2006; Santos et al. 2012) e o clima (Campo-Bescós et al. 2013) são apontados como determinantes de variações na flora da vegetação savânica. Em menor escala, a fertilidade (Vincent e Meguro 2008; Abreu et al. 2012) e a textura dos solos (Marimon Junior e Haridasan 2005; Vincent e Meguro 2008; Abreu et al. 2012; Santos et al. 2012) têm efeitos sobre a distinção florística

e estrutural das comunidades. É importante mencionar também o papel do espaço geográfico que, em diferentes escalas, pode atuar como agente estruturador das comunidades vegetais, pois muitos fenômenos naturais são estruturados espacialmente, como a dispersão de frutos e sementes (Peres-Neto 2006; veja Mews et al. 2016). Logo, tanto as variáveis climáticas quanto as edáficas, muitas vezes estruturadas espacialmente, são consideradas preditoras da ocorrência e distribuição das espécies em savanas (Campo-Bescós et al. 2013), o que dificulta a elaboração de um modelo único que resuma a relação de causa e efeito entre ambiente e espaço sobre a montagem das comunidades vegetais das savanas (Sankaran et al. 2005; Bucini e Hanan 2007).

Mais especificamente, as comunidades savânicas sobre diferentes substratos apresentam propriedades edáficas distintas e variáveis em termos de textura, disponibilidade de água, nutrientes e profundidade (Reatto et al. 2008; Ribeiro e Walter 2008). Esse é o caso das formações savânicas do bioma Cerrado, em conjunto chamadas de Cerrado *stricto sensu* (Ribeiro e Walter 2008). As savanas sobre solos profundos, planos e bem drenados, localmente chamadas de Cerrado Típico (CT), apresentam substratos substancialmente diferentes daquelas savanas que se estabelecem sobre solos rasos em relevos íngremes, devido à presença de afloramentos rochosos, localmente chamadas de Cerrado Rupestre (CR) (Abadia et al. 2018; Mews et al. 2016; Lenza et al. 2011; Pinto et al. 2009). Em função da natureza distinta dos substratos dessas savanas, a disponibilidade de sítios de estabelecimento, água e nutrientes para as plantas leva a particularidades estruturais e florísticas. Por exemplo, as savanas CT possuem maiores densidades de plantas que as CR (Mews et al. 2014) e há um grupo de espécies preferenciais ou habitat-especialistas de cada um dos dois ambientes (Pinto et al. 2009; Lenza et al. 2011).

Apesar de todo o conhecimento já produzido sobre a vegetação lenhosa em ambientes rupestres, esse se limita a algumas regiões do Cerrado (Amaral et al. 2006; Pinto et al. 2009; Lenza et al. 2011; Abreu et al. 2012; Lemos et al. 2013; Abadia et al. 2018). E ainda não há estudos que avaliaram os efeitos dos substratos sobre os padrões da diversidade beta entre esses ambientes (CR e CT) que ocorrem adjacentes na paisagem do bioma Cerrado. Nesse sentido, sabe-se que os padrões de diversidade beta são resultantes de diferentes processos atuando em distintas escalas espaciais e temporais (Gaston 2000; Leibold et al. 2004; Cottenie 2005), e que é importante compreender os processos envolvidos na diversidade beta entre comunidades para revelar as causas da elevada diversidade de espécies vegetais savânicas. No Cerrado, é esperado que as variações da flora, ou diversidade beta, entre regiões ou habitats adjacentes com distintos substratos, como é o caso do Cerrado

Rupestre e o Cerrado Típico, sejam determinadas pelos preditores ambientais devido a elevada heterogeneidade de habitats. Assim, a análise integrada da diversidade beta da flora lenhosa do CT e CR considerando as variações edáficas, climáticas e topográficas, pode evidenciar os possíveis processos dos padrões já observados para esses ambientes, como a complementariedade de flora (Mews et al. 2014) e a ocorrência de espécies especialistas em habitat (Pinto et al. 2009; Lenza et al. 2011), e, conseqüentemente, servir como fonte de informação para o desenvolvimento de estratégias de conservação do bioma.

Realizamos este estudo em dois ambientes savânicos adjacentes no Cerrado, que são distinguíveis principalmente pelos substratos sobre os quais ocorrem. O Cerrado Típico – (CT) ocorre sobre relevo plano com solos profundos, enquanto que o Cerrado Rupestre (CR) ocorre sobre relevo íngreme e solos rochosos (Ribeiro e Walter 2008). Tendo em vista o atual cenário de conversão da vegetação do Cerrado que ocorre predominantemente em áreas planas e solos mais profundos (Carvalho *et al.* 2009) e a elevada riqueza florística, torna-se interessante investigar os padrões de diversidade e os estruturadores das comunidades lenhosas de savanas sob diferentes níveis de ameaça, para melhorar nossa compreensão quanto ao papel dos preditores e dos processos ecológicos dessas comunidades. Para tanto, estruturamos a presente tese em dois capítulos:

Capítulo 1. Nesse capítulo, nosso objetivo foi avaliar como as espécies de comunidades lenhosas de savana sobre solos profundos (CT) e sobre solos rochosos (CR) respondem aos preditores locais e regionais e estabelecer os limiares e os pontos de mudança a nível comunitário e populacional. Baseados na premissa de que os afloramentos rochosos (CR) atuam como filtros ambientais para o estabelecimento de algumas espécies de plantas, hipotetizamos que as espécies lenhosas respondem principalmente às variáveis regionais e que os padrões em nível comunitário diferem entre comunidades de CT e CR.

Capítulo 2. Neste capítulo, objetivamos investigar as variações na composição e na diversidade beta de espécies lenhosas, assim como as mudanças nas propriedades ambientais (solos, clima e relevo) em diferentes localidades e considerando dois ambientes distintos (CR e CT). O que nos permitiu responder às seguintes perguntas: 1. Há diferenças na composição de espécies lenhosas e nas variáveis ambientais entre os dois ambientes? 2. Em qual dos ambientes há maior heterogeneidade florística e maior variação ambiental? 3. Os componentes da diversidade beta (substituição e aninhamento) diferem entre os ambientes? 4. Quais sítios de Cerrado Rupestre e de Cerrado Típico têm maior contribuição para a diversidade regional de plantas lenhosas?

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- Abadia AC, Lenza E, Mews HA, et al (2018) Savannas on two different substrates in Brazil have a similar species diversity, but distinct edaphic conditions and species composition. *Brazilian J Bot* 41:57–64. <https://doi.org/10.1007/s40415-017-0424-x>
- Abreu MF, Pinto JRR, Maracahipes L, et al (2012) Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil. *Brazilian J Bot* 35:259–272. <https://doi.org/10.1590/S1806-99592012000300005>
- Amaral AG, Pereira FFO, Munhoz CBR (2006) Fitossociologia de uma área de cerrado rupestre na Fazenda Sucupira, Brasília-DF. *Cerne* 12:350–359.
- Bucini G, Hanan NP (2007) A continental-scale analysis of tree cover in African savannas. *Glob Ecol Biogeogr* 16:593–605. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00325.x>
- Campo-Bescós MA, Muñoz-Carpena R, Kaplan DA, et al (2013) Beyond Precipitation : Physiographic Gradients Dictate the Relative Importance of Environmental Drivers on Savanna Vegetation. *PLoS One* 8:15–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072348>
- Carvalho FM V, Marco P De, Ferreira LG (2009) The Cerrado into-pieces : Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biol Conserv* 142:1392–1403. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.031>
- Castro AAJF, Martins FR, Tamashiro JY, Shepherd GJ (1999) Castro et al 1999 (How Rich is the Flora of Brazilian Cerrados). *Ann. Missouri Bot. Gard.* 86:192–224
- Collinson AS (1988) Tropical formations with conspicuous grasslands: savannas. In: Collinson AS (ed) *Introduction to World Vegetation*. Unwin Hyman Ltd, London, pp 232–248
- Cottenie K (2005) Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. *Ecol Lett* 8:1175–1182. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- Gaston KJ (2000) Global patterns in biodiversity. *Nature* 405:220–7. <https://doi.org/10.1038/35012228>
- Grace J, Jose SJ, Meir P, et al (2006) Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *J Biogeogr* 33:387–400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01448.x>
- Klink CA, Machado RB (2005) A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1:147–155
- Lehmann CER, Anderson TM, Sankaran M, et al (2014) Savanna Vegetation-Fire-Climate Relationships Differ Among Continents. *Science* 343:548–552. <https://doi.org/10.1126/science.1247355>

- Leibold MA, Holyoak M, Mouquet N, et al (2004) The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecol Lett* 7:601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x>
- Lemos HL, Pinto JRR, Mews HA, Lenza E (2013) Structure and floristic relationships between Cerrado sensu stricto sites on two types of substrate in northern Cerrado, Brazil. *Biota Neotrop* 13:0–12. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000400013>
- Lenza E, Pinto JRR, Pinto ADS, et al (2011) Comparação da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de cerrado rupestre na Chapada dos Veadeiros, Goiás, e áreas de cerrado sentido restrito do Bioma Cerrado. *Rev Bras Botânica* 34:247–259. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300002>
- Marimon Junior BH, 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>
- Mews HA, Pinto JRR, Eisenlohr PV, Lenza E (2016) No evidence of intrinsic spatial processes driving Neotropical savanna vegetation on different substrates. *Biotropica* 48:433–442
- Mews HA, Pinto JRR, Eisenlohr P V, Lenza E (2014) Does size matter? Conservation implications of differing woody population sizes with equivalent occurrence and diversity of species for threatened savanna habitats. *Biodivers Conserv* 23:1119–1131. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0651-4>
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858
- Peres-Neto PR (2006) A unified strategy for estimating and controlling spatial, temporal and phylogenetic autocorrelation in ecological models. *Oecologia Bras* 10:105–119. <https://doi.org/10.4257/oeco.2006.1001.07>
- Pinto JRR, Lenza E, Pinto ADS (2009) Composição florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em um cerrado rupestre, Cocalzinho de Goiás, Goiás. *Rev Bras Botânica* 32:23–32. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000100002>
- 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>
- Reatto A, Correia JR, Spera ST (2008) Solos do Bioma do Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro J. (eds) *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa-

- CPAC, Planaltina, pp 107–149
- Ribeiro JF, Walter BMT (2008) As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro JF (eds) Cerrado: Ecologia e Flora. Embrapa-CPAC, Planaltina, pp 151–212
- Sankaran M, Hanan NP, Scholes RJ, et al (2005) Determinants of woody cover in African savannas. *Nature* 438:846–849. <https://doi.org/10.1038/nature04070>
- Sano EE, Rosa R, Brito JLS, Ferreira LG (2010) Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environ Monit Assess* 113–124. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>
- Santos TRR, Pinto JRR, Lenza E (2012) Floristic relationships of the woody component in rocky outcrops savanna areas in Central Brazil. *Flora* 207:541–550. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.06.015>
- Scholes RJ, Archer SR (1997) Tree-grass interactions in savannas. *Annu Rev Ecol Syst* 28:517–544. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.517>
- Silva JF, Fariñas MR, Felfili JM, Klink CA (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *J Biogeogr* 33:536–548. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01422.x>
- Silva JMC, 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)
- 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>
- Vincent RDEC, Meguro M (2008) Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Rev Bras Botânica* 3:377–388
- Young MD, Solbrig OT (1993) Economic and ecological driving forces affecting tropical savannas. In: Young MD, Solbrig OT (eds) *The world's savannas: economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use*. Parthenon Publishing, New York, pp 3–18

CAPÍTULO 1 – Limiars ecológicos: como as condições ambientais modulam a variação na composição de espécies lenhosas em savanas neotropicais?¹

RESUMO

As relações entre composição de espécies de plantas e condições ambientais em savanas tropicais têm sido o foco de muitos estudos, mas ainda não há consenso sobre os principais preditores ambientais da composição, uma vez que eles podem variar em função das escalas espaciais analisadas. Investigamos os efeitos dos preditores ambientais sobre os limiars ecológicos de ocorrência das espécies de comunidades de plantas lenhosas em dois ambientes savânicos que ocorrem sobre substratos distintos: solos profundos e relevo plano (Cerrado Típico – CT) e solos rasos com afloramentos rochosos e relevo íngreme (Cerrado Ruprestre – CR). Compilamos dados da abundância das espécies lenhosas e de variáveis ambientais regionais (clima e topografia) e locais (variáveis de solo) em 32 sítios de 1 ha cada (16 de CT e 16 de CR). Para determinar os limiars ecológicos e os pontos de mudança na distribuição das espécies (ocorrência e a abundância) em resposta aos preditores ambientais aplicamos uma Análise de Taxa indicadores de limiar (*Threshold Indicator Taxa Analysis* - TITAN). A distribuição das espécies nos dois ambientes ao longo do gradiente regional foi determinada principalmente pela altitude, formando um claro padrão que distinguiu os sítios do planalto central, em maiores altitudes, daqueles sítios das porções norte e noroestes do Cerrado, em menores altitudes. Em escala local, a distribuição das espécies foi determinada principalmente por um gradiente de fertilidade dos solos (e.g. teores de Mg, Na, Ca e K). Assim, concluímos que a composição das espécies nos dois ambientes ao longo de gradientes ambientais é determinada por múltiplos fatores, atuando em escala regional e local.

Palavras-chave: Cerrado, escalas espaciais, limia, nicho ecológico, TITAN.

¹ O manuscrito está submetido para publicação no periódico: Journal of Vegetation Science

ABSTRACT

The relationships between vegetation and environmental variables in tropical savannas have been the focus of many studies. Despite this, there is still no consensus on the main predictors of savanna vegetation, since they may vary according to the spatial scales analyzed. The present study investigated the ecological thresholds at the population and community levels of woody plants in two adjacent savannas that occur on distinct substrates: deep soils and flat relief (Typical Cerrado - CT) and shallow soils with rocky outcrops and steep relief (Rocky Cerrado - CR) and how populations and communities respond to local and regional gradients. We compiled abundance data of the woody species and regional and local environmental variables in 32 sites, with 1 ha each (16 CT and 16 CR). We compiled data of abundance of the woody species and the regional (climate and topography) and local (soil properties) environmental variables in 32 sites, with 1 ha each (16 CT and 16 CR). We applied the Threshold Indicator Taxa Analysis (TITAN) to detect changes in species distribution in response to environmental predictors. The communities of the two environments differed in their responses to the local (soil properties) and regional (topography) predictors and that the climate had little influence on the woody vegetation of these environments. The woody communities of CT and CR, although occurring adjacently in the landscape, present marked differences in response to predictors, whether local or regional. We conclude that the distribution of species in both environments is not determined by substrate, but for multiple and distinct factors, which depend on the scale analyzed.

Key words: Cerrado, spatial scales, ecological niche, ecological thresholds, TITAN.

1. INTRODUÇÃO

Ecossistemas com grande extensão territorial e elevada heterogeneidade ambiental representam grandes desafios ao entendimento dos fatores estruturadores das comunidades e da distribuição das espécies. As savanas, por exemplo, são amplamente distribuídas sobre a superfície terrestre (Cole 1986; Scholes e Archer 1997) e apresentam grande heterogeneidade de habitats (Collinson 1988; Young e Solbrig 1993). Nos trópicos, as savanas ocorrem em 30 países e cobrem uma extensão entre 15 e 24,6 milhões de km² apenas na América do Sul, África e Ásia (Silva e Bates 2002; Lehmann et al. 2014). Esse mosaico de vegetação é derivado da grande variedade de ambientes em que as savanas ocorrem, a qual inclui desde áreas montanhosas até extensões planas, em diferentes tipos de solos e condições climáticas (Collinson 1988).

As relações entre a vegetação e os preditores ambientais em savanas tropicais têm sido o foco de muitos estudos (Campo-Bescós et al. 2013; Lehmann et al. 2014; Villalobos-Vega et al. 2014). Esse conjunto de esforços têm revelado que a ocorrência e a abundância de espécies lenhosas de savanas podem ser influenciadas por diferentes fatores atuando em distintas escalas espaciais. Por exemplo, o efeito dos preditores ambientais sobre a composição e a estrutura da vegetação variam substancialmente entre os continentes (Lehmann et al. 2014). No entanto, ainda considerando uma ampla escala, a altitude (Castro et al. 1999; Ratter et al. 2003; Silva et al. 2006; Santos et al. 2012), o relevo (Silva et al. 2006; Santos et al. 2012) e o clima (Campo-Bescós et al. 2013; Lehmann et al. 2014) são apontados como importantes determinantes da vegetação savânica. Por outro lado, em menor escala, a disponibilidade de nutrientes (Vincent e Meguro 2008; Abreu et al. 2012), a textura (Marimon Junior e Haridasan 2005; Vincent e Meguro 2008; Abreu et al. 2012; Santos et al. 2012), a disponibilidade de água nos solos (Oliveira-Filho e Ratter 2002) e o regime de fogo (Bond e Keeley 2005; Lenza et al. 2017) têm efeitos sobre a distinção florística entre comunidades locais.

Apesar dos vários estudos acerca das relações entre variáveis ambientais e a estrutura da vegetação (Sankaran et al. 2005; Lehmann et al. 2014), ainda não há consenso na literatura sobre o conjunto de preditores mais importantes para as savanas tropicais (Lehmann et al. 2014; Mews et al. 2016). Afinal, as savanas possuem grande extensão espacial, elevada heterogeneidade ambiental e alta diversidade de espécies, de forma que é difícil determinar um modelo único de preditores da vegetação, pois múltiplos fatores podem atuar em diferentes escalas espaciais (Vaughn et al. 2015). Uma maneira de compreender como as comunidades e as populações de ambientes savânicos respondem aos preditores ambientais

é apontar os limiares ecológicos. Os limiares ecológicos são definidos como os pontos de mudança nas condições ambientais, que podem ser abruptos ou não, e que causam grandes mudanças nas populações e comunidades (Huggett 2005; Groffman et al. 2006).

Desse modo, é importante compreender os limiares em ambientes distintos em nível de população e de comunidade, pois as espécies respondem de maneira diferente às variações ambientais, e o conjunto das respostas das populações gera os padrões encontrados para as comunidades. Sendo assim, as espécies podem ser adaptadas a explorar diferentes espaços do nicho fundamental (conjunto das condições ambientais que permitem o crescimento e a reprodução de determinada espécie; Hutchinson 1957). Assim, as respostas específicas das espécies, ou seja, os distintos nichos ecológicos às mudanças nos preditores locais (e.g. propriedades edáficas) e regionais (clima e topografia), podem determinar a distribuição e abundância das espécies de grandes e complexos ecossistemas, como as savanas tropicais, (Campo-Bescós et al. 2013; Lehmann et al. 2014).

O bioma Cerrado possui a maior savana neotropical (Myers et al. 2000; Murphy et al. 2016) e possui a maior riqueza de espécies vegetais entre todas as savanas mundiais (Kier et al. 2005; Murphy et al. 2016). A elevada riqueza de plantas no Cerrado pode ser explicada pela alta heterogeneidade ambiental, seja em grande escala, que leva à formação de distintas ecorregiões (Sano et al. 2019) e unidades de paisagem, em média escala, que determina distintas unidades ecológicas (Silva et al. 2006) ou em pequenas escalas, formando distintas formações vegetais e fitofisionomias (Oliveira-Filho e Ratter 2002; Ribeiro e Walter 2008). Seja qual for a escala analisada, as modificações na estrutura da vegetação e na composição florística elevam a diversidade beta entre comunidades (Bridgewater et al. 2004; Mews et al. 2016; Ferreira et al. 2017). Assim, para melhorar o entendimento do papel dos preditores locais e regionais é necessário investigar os fatores estruturadores que atuam em diferentes escalas espaciais, bem como as respostas individuais das espécies a esses fatores e nos distintos ambientes nos quais ocorrem.

Aqui, investigamos como as comunidades e as espécies de plantas lenhosas de dois ambientes savânicos neotropicais, distinguíveis principalmente pelo tipo de substrato sobre os quais ocorrem (o Cerrado Típico – CT que ocorre sobre solos profundos, planos e bem drenados e o Cerrado Rupestre – CR que estabelece sobre solos rasos e relevo acidentado devido à presença de afloramentos rochosos (Ribeiro e Walter 2008)), respondem aos gradientes de preditores regionais (climáticos e topográficos) e locais (propriedades edáficas). Mais especificamente, avaliamos os limiares ecológicos e os pontos de mudança em nível de população e comunidade para os dois ambientes. Considerando que os dois

ambientes diferem em composição de espécies (Abadia et al. 2018) e que há um grupo de espécies preferenciais ou habitat especialistas de cada um dos dois ambientes (Pinto et al. 2009; Lenza et al. 2011), nós perguntamos se: 1. As mudanças nos limites de ocorrências das espécies ao longo dos gradientes ecológicos regionais (clima e topografia) e locais (propriedades edáficas) diferem entre as comunidades lenhosas de Cerrado Típico e Cerrado Rupestre? 2. Diferentes fatores regionais e locais explicam as mudanças na composição de espécies entre os dois ambientes?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Compilamos dados de ocorrência e abundância de espécies lenhosas e de variáveis ambientais obtidas mediante protocolos padronizados de coleta, de 32 sítios em 16 localidades de vegetação savânica no Brasil Central. Em cada localidade, foi amostrada a vegetação lenhosa em dois sítios adjacentes ou próximos (10 parcelas de 50m X 20 - 1 ha - em cada sítio): um em relevo plano e solos profundos (CT) e outro em relevo íngreme e solos rasos com afloramentos rochosos (CR) (Figura 1; Tabela 1). As localidades estudadas abrangem amplitude de 8,5 graus de latitude e seis de longitude e variam entre 200 e 1.254 m de altitude (Tabela 1). O clima na região das áreas de estudo é do tipo Aw de Köppen, com períodos seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março) bem definidos (Alvares et al. 2013). A precipitação anual variou de 1.527 a 1.686 mm e a temperatura média anual de 20,2 e 25,7°C (Tabela 1).

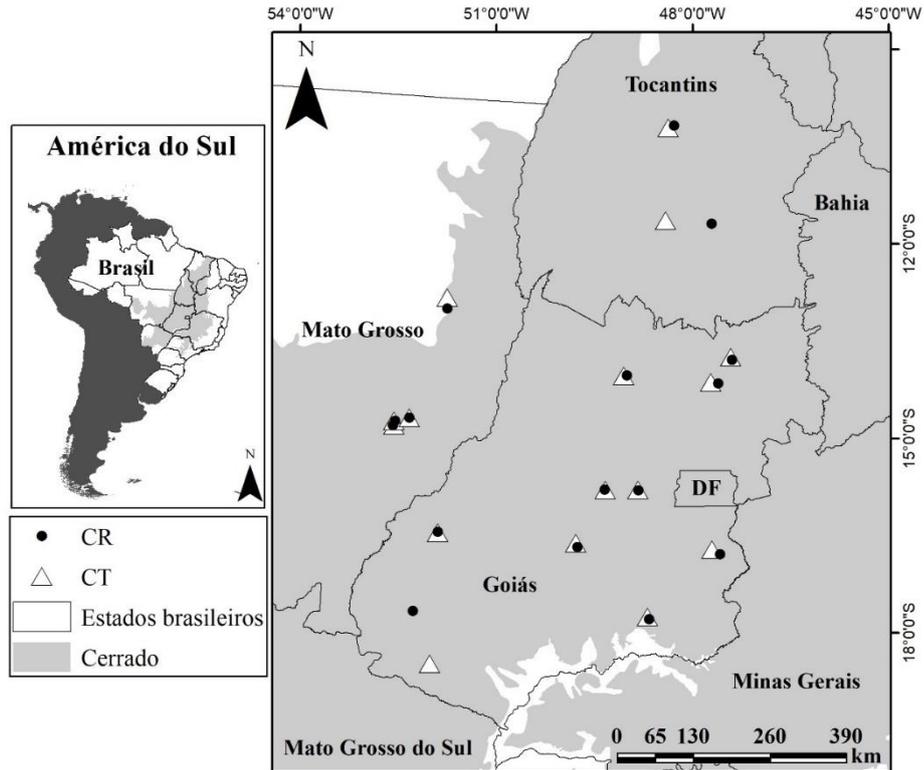


Figura 1. Localização dos sítios das adjacentes sobre solos profundos (CT) e sobre solos rasos (CR) amostrados na Cerrado (Cerrado) e sua localização em relação ao Brasil e a América do Sul. DF = Distrito Federal.

Tabela 1. Características dos sítios amostrados no Cerrado. Sítios = nome abreviado da localidade, bem como do tipo de vegetação: CT = Cerrado Típico e CR = Cerrado Rupestre; S = Riqueza de espécies; N = Densidade de indivíduos; Precipitação e temperatura são fornecidas como médias anuais extraídas da base de dados do *Worldclim*; GO = Goiás; TO = Tocantins e MT = Mato Grosso.

Localidades	Sítios	S	N (ind/ha)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Altitude (m)	Longitude (W)	Latitude (S)
Alto Paraíso de Goiás (GO) ¹	ALPA-CT	72	2.054	1.663	21,0	1.179	-47.718	-14.142
	ALPA-CR	71	1.977	1.665	20,9	1.162	-47.607	-14.157
Caldas Novas (GO) ¹	CANO-CT	59	1.658	1.546	21,1	1.001	-48.685	-17.759
	CANO-CR	66	1.357	1.527	21,6	901	-48.664	-17.795
Cavalcante (GO) ¹	CAVA-CT	84	1.374	1.639	23,1	784	-47.414	-13.750
	CAVA-CR	80	1.320	1.645	23,6	814	-47.395	-13.792
Cristalina (GO) ¹	CRIS-CT	70	1.301	1.542	20,5	1.049	-47.697	-16.725
	CRIS-CR	80	945	1.558	20,2	1.123	-47.573	-16.792
Jaraguá (GO) ¹	JARA-CT	63	1.913	1.648	22,5	870	-49.333	-15.799
	JARA-CR	61	1.753	1.650	22,7	790	-49.343	-15.793
Mara Rosa (GO) ¹	MARA-CT	82	1.352	1.548	24,1	564	-49.050	-14.037
	MARA-CR	66	1.161	1.540	24,0	577	-49.003	-14.032
Mineiros (GO) ¹	MINE-CT	88	3.457	1.577	22,2	702	-52.019	-18.483
	MINE-CR	84	1.800	1.637	21,9	760	-52.278	-17.665
Nazário (GO) ¹	NAZA-CT	64	1.184	1.686	22,5	844	-49.785	-16.625
	NAZA-CR	61	1.183	1.683	22,2	735	-49.759	-16.683
Piranhas (GO) ¹	PIRA-CT	58	1.078	1.634	22,6	756	-51.896	-16.456
	PIRA-CR	61	931	1.633	22,6	725	-51.899	-16.449
Pirenópolis (GO) ¹	PIRE-CT	54	1.148	1.633	20,4	1.254	-48.829	-15.798
	PIRE-CR	61	614	1.634	20,5	1.179	-48.828	-15.804
Palmas (TO) ²	PALM-CT	62	1.021	1.617	25,1	200	-48.368	-10.214
	PALM-CR	80	857	1.641	24,5	400	-48.279	-10.178

Localidades	Sítios	S	N (ind/ha)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Altitude (m)	Longitude (W)	Latitude (S)
Natividade (TO) ²	NATI-CT	82	1.210	1.609	25,4	300	-48.410	-11.643
	NATI-CR	54	997	1.567	23,4	1.000	-47.702	-11.693
Ribeirão Cascalheira (MT) ³	RIBE-CT	75	1.690	1.545	25,7	325	-51.750	-12.833
	RIBE-CR	64	796	1.531	25,5	403	-51.750	-13.000
Nova Xavantina (MT) ⁴	NXBA-CT	89	1.590	1.559	24,7	340	-52.349	-14.707
	NXBA-CR	72	1.630	1.560	24,5	380	-52.347	-14.711
Nova Xavantina (MT) ³	NXMA-CT	81	1.543	1.546	24,7	300	-52.578	-14.733
	NXMA-CR	54	758	1.540	24,0	410	-52.550	-14.744
Nova Xavantina (MT) ³	NXRO-CT	68	1.351	1.582	24,1	440	-52.567	-14.800
	NXRO-CR	75	1.409	1.573	24,3	340	-52.583	-14.800

¹Mews et al. (2014, 2016); ²Lemos et al. (2013); ³Abadia et al. (2018a); ⁴Gomes et al. (2011).

2.2. Coleta de dados e seleção de variáveis preditoras

Em cada sítio, foram amostradas todas as plantas lenhosas com diâmetro ≥ 5 cm a 30 cm do solo, incluindo lianas e monocotiledôneas das famílias Velloziaceae e Arecaceae. A nomenclatura dos táxons foi conferida e padronizada seguindo a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2020), utilizando o sistema de classificação botânica APG IV (2016).

Em cada sítio, foram obtidas em campo a altitude e as coordenadas geográficas. Foram coletadas amostras da camada superficial do solo (0-20 cm; Apêndice 1), por ser considerada bastante importante para a vegetação do Cerrado (Ruggiero et al. 2002). Posteriormente, foram analisadas em laboratório as propriedades químicas e granulométricas das amostras de solo, seguindo o protocolo da Embrapa (2013). Foram extraídas as variáveis climáticas relacionadas a temperatura e precipitação (temperatura média anual, precipitação anual total, sazonalidade da temperatura, temperatura média do trimestre mais quente e temperatura média do trimestre mais frio; Apêndice 1) da base de dados *WorldClim 2.0*, com resolução de 30 segundos (Fick e Hijmans 2017).

2.3. Análise de dados

Inicialmente, classificamos as variáveis ambientais em duas escalas geográficas: regionais e locais, definidas de acordo com a abrangência de seus efeitos sobre padrões de distribuição de plantas (Crawley e Harral 2001; Vaughn et al. 2015). As variáveis regionais foram aquelas relacionadas ao clima, altitude e topografia, enquanto que as variáveis locais foram aquelas relacionadas às propriedades edáficas. Posteriormente, para reduzir a multicolinearidade, submetemos as variáveis preditoras regionais e locais ao cálculo do Fator de Inflação da Variância (*Variance Inflation Factor* - VIF; Apêndice 2). Nas análises subsequentes, mantivemos apenas as variáveis regionais e locais que tinham $VIF < 3$ (Quinn e Keough 2002). Assim, após a seleção foram mantidas quatro variáveis regionais (altitude, sazonalidade da temperatura e precipitação) e nove variáveis locais (capacidade de troca catiônica, teores de argila, de cálcio, de matéria orgânica, de sódio, de enxofre, de potássio, de magnésio e de fósforo no solo; Apêndice 1).

Para analisar os limiares ecológicos e definir os pontos de mudança na ocorrência e na abundância das espécies em função dos preditores ambientais regionais e locais, usamos a análise *Threshold Indicator Taxa Analysis* – TITAN (Baker e King 2010). Aplicamos esse protocolo separadamente para CT e CR, uma vez que o TITAN analisa cada ambiente e gradiente ambiental por vez. Utilizamos como variável resposta as abundâncias das espécies nos sítios e como variável preditora as variáveis regionais e locais selecionadas. O TITAN

associa a análise de espécies indicadoras (*IndVal* - Dufrêne e Legendre 1997) com análises que estimam os pontos de mudança das espécies para cada gradiente ambiental (*Change-point Analysis* (nCPA); King e Richardson 2003). As significâncias desses pontos de mudanças e de suas direcionalidades (positivas ou negativas) são testadas por técnicas de aleatorização (*Bootstrap*) que avaliam a “pureza” e a “confiabilidade” das mudanças em nível específico (Baker e King 2010). As mudanças cumulativas e significativas das espécies são empregadas para determinar os limiares de mudança em nível de comunidade, tanto negativos (z-) quanto positivos (z+). Assim, é possível analisar quantitativamente as mudanças no gradiente ambiental, tanto em nível populacional quanto comunitário. Posteriormente, plotamos em mapas os pontos de mudança das comunidades de CT e de CR que emergiram do TITAN para cada preditor regional. Apenas espécies com abundância local mínima de quatro indivíduos foram consideradas no TITAN (Baker e King 2010), o que resultou em uma matriz florística com 97 espécies no CT (42% do total) e 88 no CR (33% do total).

Realizamos todas as análises no ambiente R 3.4.4 (R Core Team 2018). Especificamente, empregamos as funções *vifstep* do pacote *usdm* (Naimi et al. 2014) para a análise do VIF. Usamos a rotina fornecida por Baker e King (2010) para realizar as análises do TITAN. Para todas as análises adotamos nível de significância de 5% e empregamos 9.999 permutações nos métodos baseados em aleatorizações.

3. RESULTADOS

Flora e variáveis ambientais. No total, amostramos 44.412 indivíduos, onde o número médio de indivíduos por ambiente foi de $1557 \pm 585,4$ no CT e $1218 \pm 410,9$ no CR. Registramos 319 espécies, 151 gêneros e 42 famílias (Apêndice 3). Desse total, 227 espécies (71,2%) ocorreram no CT e 266 (83,4%) no CR. A riqueza média no CT foi de $68,2 \pm 10,9$, enquanto que no CR foi de $71,9 \pm 10,0$. Mais da metade das espécies, 176 (55%) foram comuns aos dois ambientes e 52 (16,4%) e 91 (28,6%) foram exclusivas do CT e do CR, respectivamente. As três variáveis regionais (altitude, sazonalidade da temperatura e precipitação anual) não diferiram significativamente entre os ambientes de CT e CR (veja Apêndice 2). Dentre as nove variáveis locais derivadas do solo, apenas os teores de matéria orgânica, P e CTC diferiram significativamente entre os dois ambientes, com valores maiores para o CR (Apêndice 2).

Efeitos dos preditores regionais. Os limiares ecológicos das comunidades nos ambientes de CT e CR diferiram para todos os preditores regionais analisados. Um maior número de espécies apresentaram mudanças em sua ocorrência e abundância em resposta ao gradiente de altitude (36 espécies no CT e 32 no CR) do que em resposta aos gradientes de sazonalidade da temperatura (18 espécies no CT e 29 no CR) e de precipitação (18 espécies no CT e 16 no CR) (Figura 2; Apêndice 4, 5, e 6).

De modo geral, os ambientes CT e CR apresentaram diferenças na distribuição espacial dos grupos florísticos, definidos de acordo com os pontos de mudança na ocorrência e abundância das espécies em resposta aos preditores regionais (Figura 3). Ao longo do gradientes altitudinal houve mudanças na ocorrência das espécies no sentido sul-norte do bioma Cerrado, isto é, dos sítios da porção com altitude mais elevada, localizados no Planalto Central brasileiro (pontos verde escuro) até os sítios na porção com altitudes mais baixas, localizados ao norte e ao noroeste (pontos vermelhos). Nos gradientes de sazonalidade da temperatura e de precipitação não emergiram padrões regionais claros nos pontos de mudança das espécies para os dois ambientes (Figura 3).

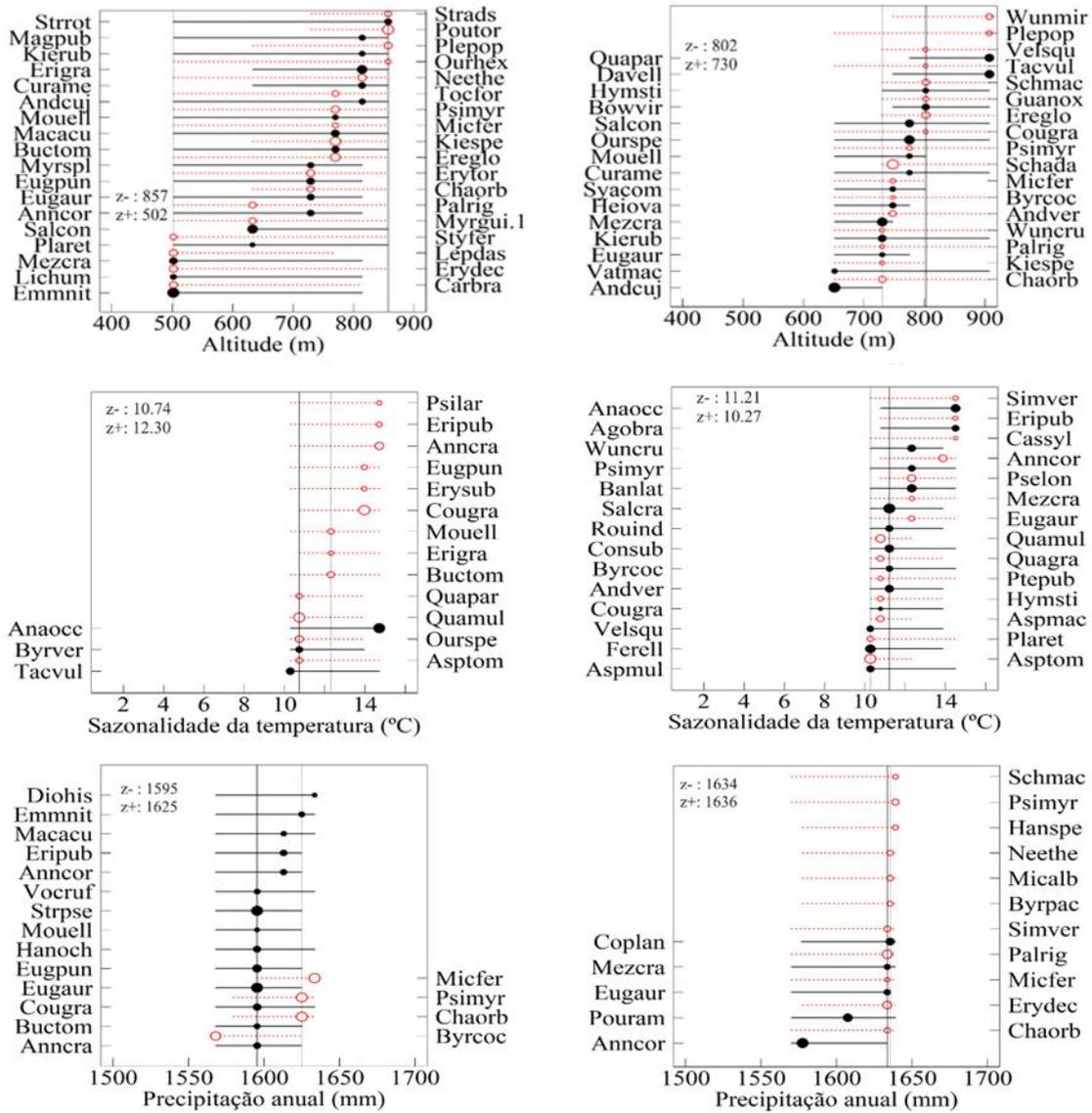


Figura 2. Pontos de mudança nas abundâncias das espécies das comunidades de plantas lenhosas em dois ambientes adjacentes no Cerrado, em resposta as variáveis regionais. Limiares ecológicos de savanas sobre solos profundos - CT (lado esquerdo) e sobre solos rasos - CR (lado direito). Símbolos pretos fechados representam relação negativa das espécies no gradiente e símbolos vermelhos abertos representam relação positiva no gradiente. A linha tracejada vertical representa o limiar de relação positiva e a contínua vertical o limiar negativo de descontinuidade das comunidades. O círculo representa o tamanho do efeito. Os nomes das espécies estão abreviados (p.ex. Quapar = *Qualea parviflora*), os respectivos nomes completos constam no Apêndice 3.

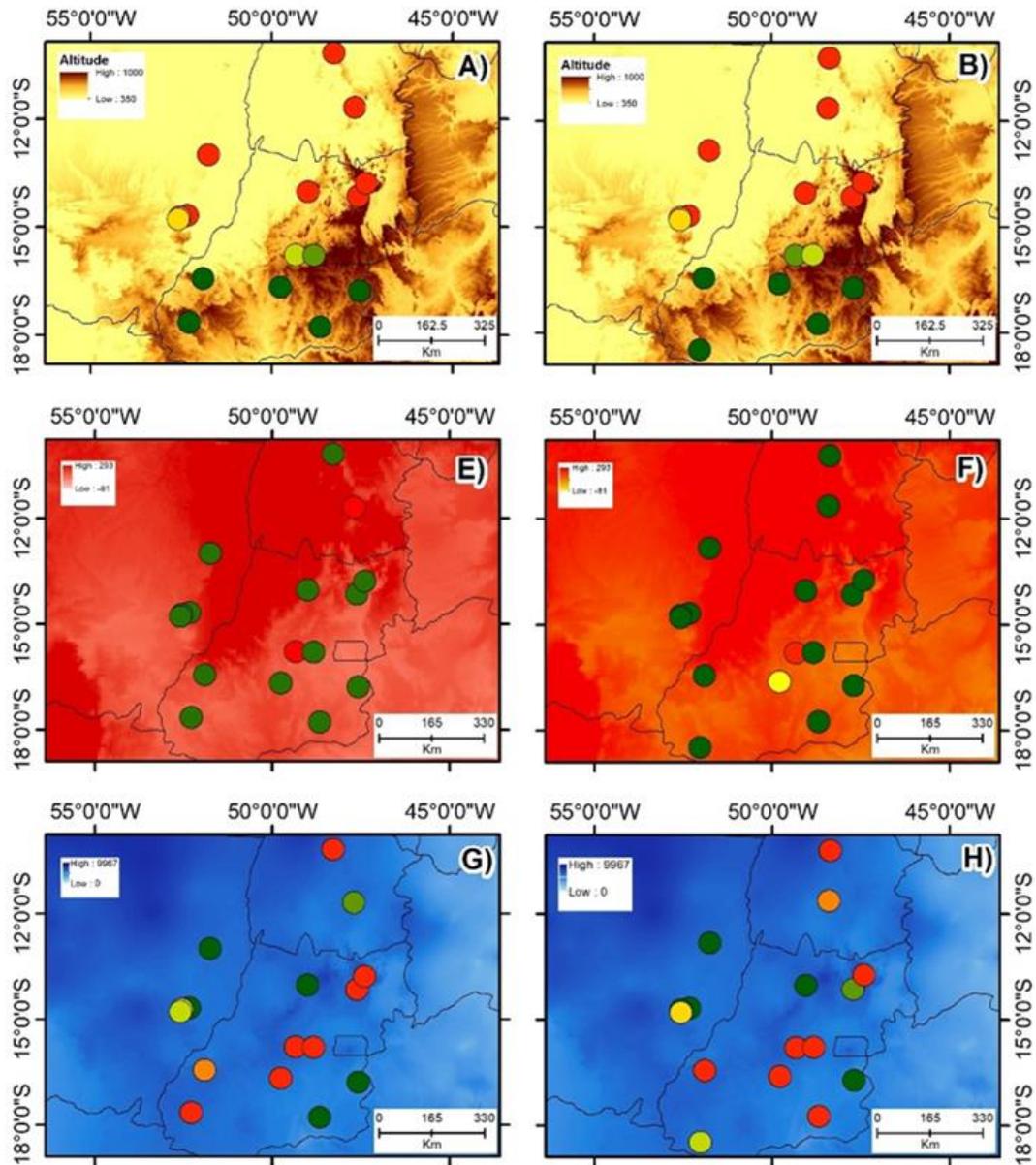


Figura 3. Distribuição espacial dos pontos de mudança na ocorrência e abundância das espécies de plantas lenhosas em savanas sobre solos profundos (lado esquerdo) e sobre solos rasos (lado direito) com base nos preditores regionais, a partir do TITAN. Onde: A-B: resposta das comunidades ao gradiente altitudinal; E-F: resposta ao gradiente de sazonalidade da temperatura; G-H: resposta ao gradiente de precipitação. As cores representam os grupos florísticos que emergiram do TITAN.

Efeitos dos preditores locais. Os limiares e os pontos de mudança das espécies nas comunidades diferiram entre os dois ambientes para a maioria dos preditores locais (Tabela 3). Em cinco preditores relacionados à disponibilidade de nutrientes no solo (Sódio, capacidade de troca catiônica, Fósforo, Enxofre e matéria orgânica), os pontos de mudanças ocorreram em valores mais elevados para o CR do que para o CT. Por outro lado, para argila os limiares de mudança foram maiores no CT (Figuras 4, 5 e 6). Os preditores Magnésio, Potássio e Cálcio apresentaram pontos de mudança na ocorrência e abundância das espécies semelhantes para CT e CR.

Os teores de MO, Na, Mg e Ca no solo foram os que exerceram influência sobre o maior número de espécies, isto é, muitas espécies diminuíram ou aumentaram suas abundâncias em decorrência da oscilação nessas variáveis (veja Apêndice 8, 9, 10 e 11). Para os demais preditores locais (K, S, argila, CTC e P), poucas espécies responderam ao aumento ou à diminuição dessas variáveis (Apêndice 11, 12, 13, 14 e 15). De modo geral, poucas espécies responderam de modo semelhante aos preditores locais entre os dois ambientes (Figuras 4, 5 e 6). Um reduzido número de espécies responderam aos gradientes de Na ($n = 6$ espécies), Mg ($n = 6$), Ca ($n = 3$), CTC ($n = 3$) e P ($n = 2$) nos dois ambientes, ao passo que para os gradientes de MO, S e argila não registramos nenhuma espécie que respondeu de modo semelhante no CT e CR.

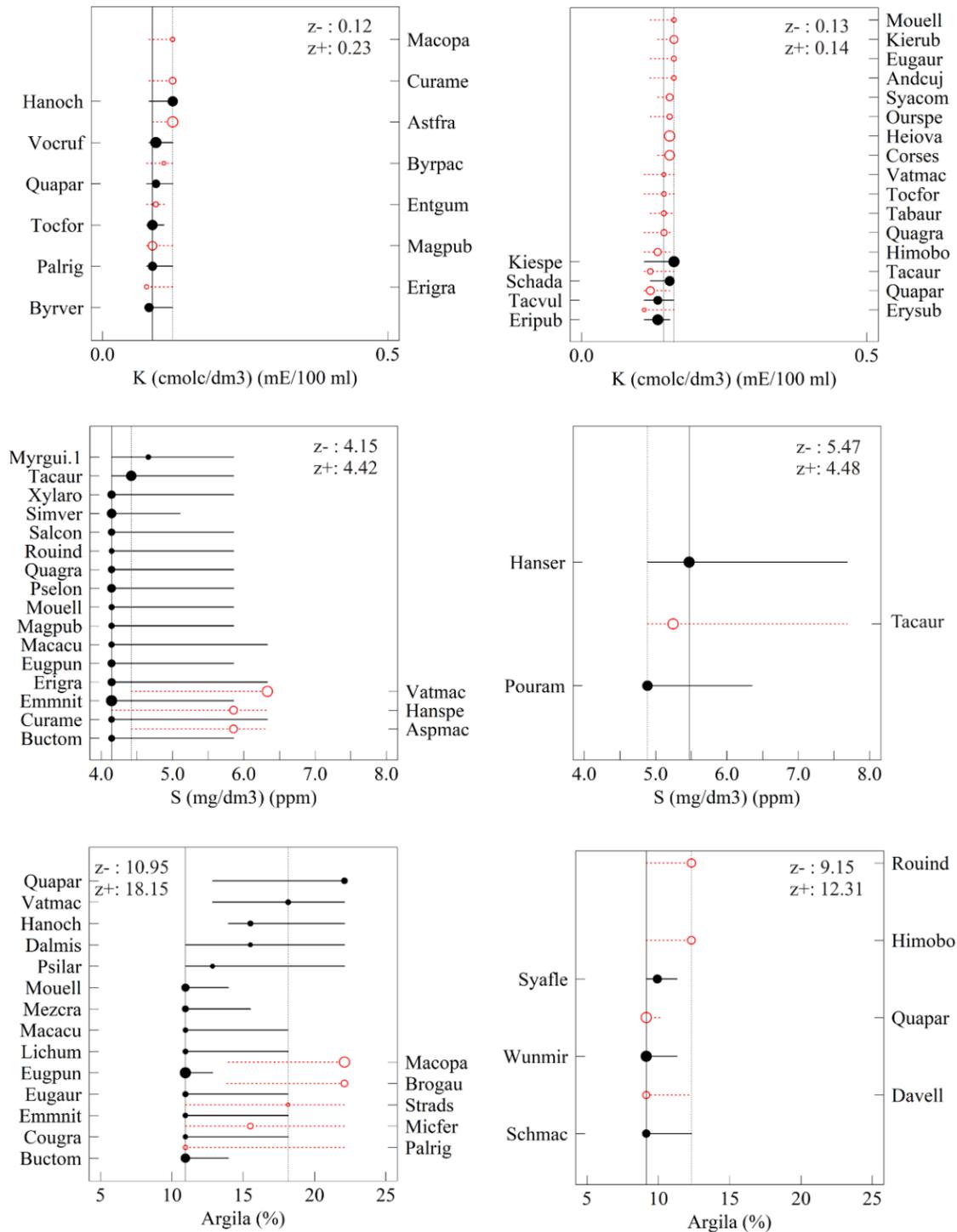


Figura 4. Pontos de mudança nas abundâncias das espécies das comunidades de plantas lenhosas em dois ambientes adjacentes no Cerrado, em resposta as variáveis locais. Limiares ecológicos em savanas sobre solos profundos - CT (lado esquerdo) e sobre solos rasos – CR (lado direito). Símbolos pretos fechados representam relação negativa com o gradiente e símbolos vermelhos abertos representam relação positiva com o gradiente. A linha tracejada vertical representa o limiar de relação positiva e a contínua vertical o limiar negativo de descontinuidade das comunidades. O círculo representa o tamanho do efeito. Os nomes das espécies estão abreviados (p.ex. Quapar = *Qualea parviflora*), os respectivos nomes completos constam no Apêndice 3.

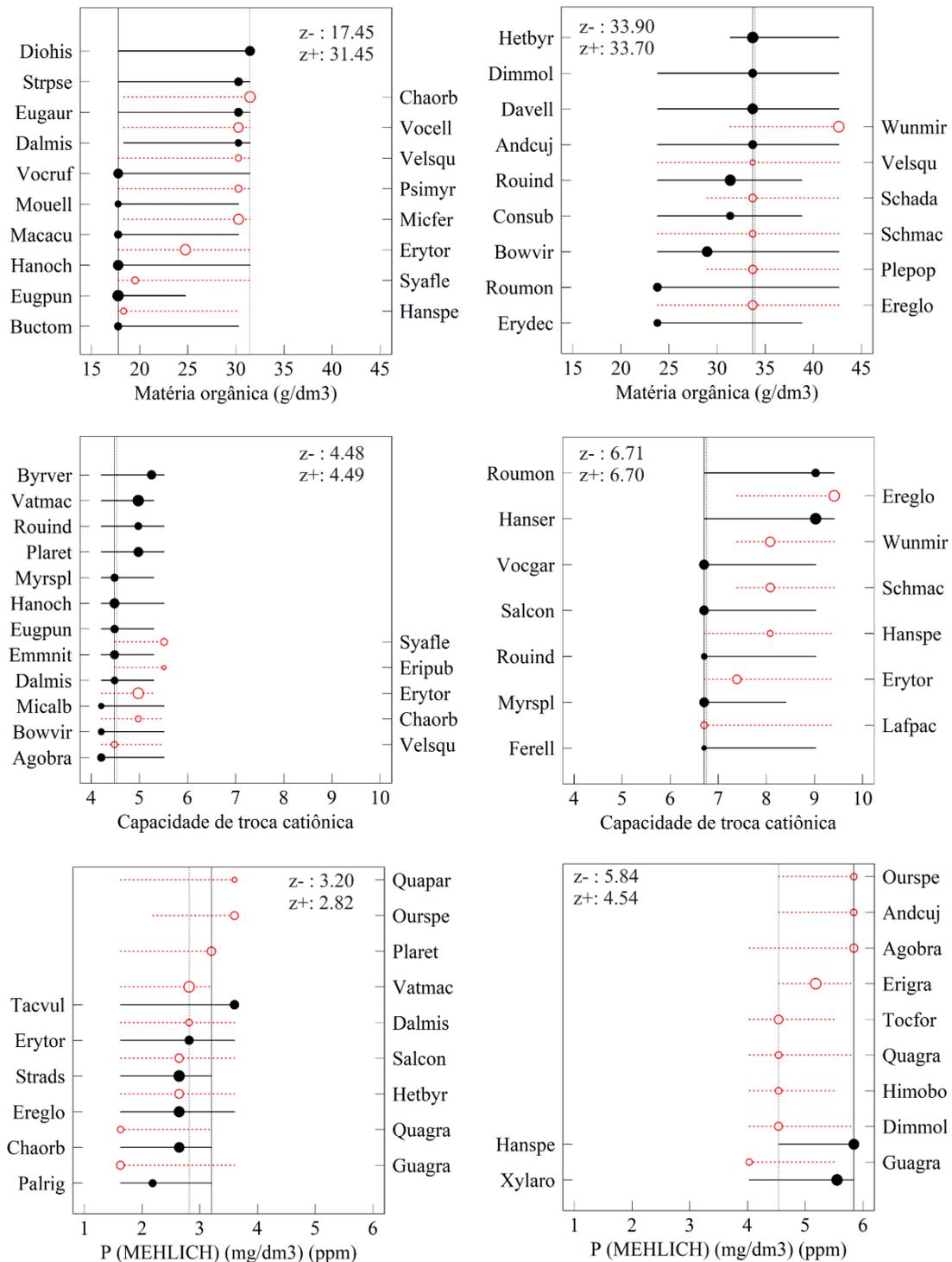


Figura 5. Pontos de mudança nas abundâncias das espécies das comunidades de plantas lenhosas em dois ambientes adjacentes no Cerrado, em resposta as variáveis locais. Limiares ecológicos em savanas sobre solos profundos – CT (lado esquerdo) e sobre solos rasos – CR (lado direito). Símbolos pretos fechados representam relação negativa com o gradiente e símbolos vermelhos abertos representam relação positiva com o gradiente. A linha tracejada vertical representa o limiar de relação positiva e a contínua vertical o limiar negativo de descontinuidade das comunidades. O círculo representa o tamanho do efeito. Os nomes das

espécies estão abreviados (p.ex. Diohis = *Diospyros hispida*), os respectivos nomes completos constam no Apêndice 3.

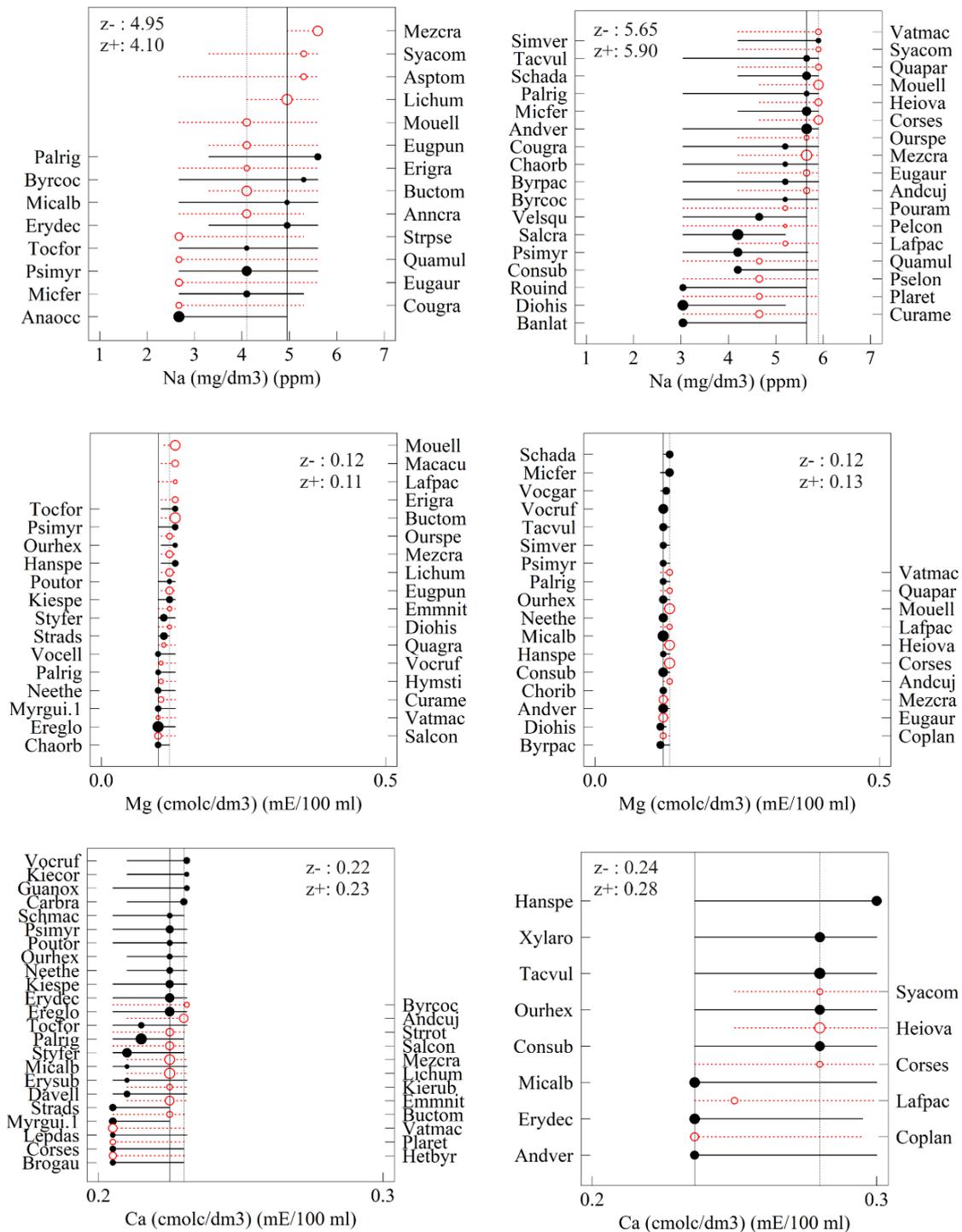


Figura 6. Pontos de mudança nas abundâncias das espécies das comunidades de plantas lenhosas em dois ambientes adjacentes no Cerrado, em resposta as variáveis locais. Limiares ecológicos em savanas sobre solos profundos - CT (lado esquerdo) e sobre solos rasos - CR (lado direito). Símbolos pretos fechados representam relação negativa com o gradiente e símbolos vermelhos abertos representam relação positiva com o gradiente. A linha tracejada vertical representa o limiar de relação positiva e a contínua vertical o limiar negativo de descontinuidade das comunidades. O círculo representa o tamanho do efeito. Os nomes das

espécies estão abreviados (p.ex. Quapar = *Qualea parviflora*), os respectivos nomes completos constam no Apêndice 3.

4. DISCUSSÃO

Padrões Gerais. Mostramos nesse estudo que, considerando os preditores regionais, a ocorrência e abundância das espécies lenhosas em Cerrado Típico e Cerrado Rupestre foram determinadas principalmente pela altitude. Esse efeito levou à formação de um claro padrão de substituição de espécie desde as porções mais elevadas, localizadas na porção central do Cerrado, até as porções mais baixas, localizadas nas porções norte e noroeste do bioma. Nessa escala de análise, a sazonalidade da temperatura e a precipitação anual exerceram influência secundária e não gerou padrões regionais claro para os dois ambientes. Nas análises considerando os preditores locais, os limiares de ocorrência e abundância das espécies nos dois ambientes foram determinados principalmente pela fertilidade dos solos (e.g. Mg, Na, Ca e K). A seguir, apresentamos explicações para esses resultados e discutimos detalhadamente as implicações dos nossos achados para os padrões fitogeográficos da maior e mais biodiversa savana tropical da América do Sul, o Cerrado brasileiro.

Preditores regionais. Os fortes efeitos da altitude sobre a ocorrência e abundância das espécies podem estar relacionados às maiores amplitudes desse preditor entre as áreas de estudo, enquanto as amplitudes da sazonalidade da temperatura e da precipitação foram pequenas (Apêndice 2). De fato, ao longo de toda extensão do Cerrado, há ampla variação na altitude, um dos fatores que explica a ocorrência de distintas unidades de paisagem nmo Cerrado. Diversos estudos fitogeográficos também apontam a altitude como um dos fatores que mais explicam a distribuição das espécies lenhosas em comunidades do Cerrado (Felfili e Silva Jr 1993; Castro et al. 1999; Ratter et al. 2003), principalmente em ambientes sobre afloramentos rochosos (Santos et al. 2012; Mews et al. 2016). Em estudo comparativo entre as savanas africanas, australianas e sul americanas, Lehmann et al. (2014) mostraram que os efeitos do clima (precipitação e temperatura) sobre a biomassa foram evidentes para as duas primeiras savanas, porém mais fracos para as savanas sul americanas. Ao contrário disso, o recente estudo conduzido no Cerrado brasileiro (Morandi et al. 2018) mostrou que a biomassa da vegetação lenhosa foi positivamente influenciada por variações na precipitação e na temperatura regionais, embora a diversidade de espécies não tenha sido influenciada por essas duas variáveis climáticas. Nosso estudo mostrou que o efeito climático é também pouco evidente sobre a composição e a substituição de espécies de formações savânicas ao longo do Cerrado, ocorram elas sobre solos profundos ou rasos. Desse modo, sugerimos que

estudos em maior escala geográfica no Cerrado e em outras savanas mundiais avaliem os efeitos da altitude, não apenas sobre a biomassa, mas também sobre a riqueza e a composição de espécies.

Além das diferenças em nível comunitário, também encontramos diferentes conjuntos de espécies respondendo às variações nos preditores regionais, o que indica que algumas populações diferem quanto à tolerância às variações nas condições ambientais nos dois ambientes. Dentre as espécies que responderam aos gradientes de altitude podemos citar *Schwartzia adamantium*, *Vellozia squamata* e *Wunderlichia mirabilis*, consideradas habitat-especialistas em ambientes rupestres (Pinto et al. 2009; Lima et al. 2010; Lenza et al. 2011). Essas espécies tiveram suas ocorrências e abundâncias fortemente influenciadas por esse preditor no CR. Observamos, ainda, os efeitos evidentes da altitude em nossas análises dos padrões regionais das comunidades (veja Figura 3), os quais indicaram a separação entre os sítios localizados no Planalto Central do Brasil (porção mais elevada do gradiente) daqueles localizados ao norte e noroeste (porção menos elevada). Isso reforça a importância de considerar a altitude em estudos ecológicos e de conservação da flora lenhosa. Por exemplo, é sabido que há assimetria na distribuição de Unidades de Conservação do Cerrado, de forma que a maior parte delas é estabelecida no planalto central brasileiro (Pinto et al. 2009; França et al. 2016), ou seja, em altitudes mais elevadas. Isso implica que as comunidades lenhosas das savanas da porção mais baixa do Cerrado (e.g. bacia do Rio Araguaia e do Rio Tocantins) estão sob forte pressão antrópica e proteção incipiente, por estarem fora de unidades de conservação e por isso sob forte risco de perda de espécies.

Preditores locais. De maneira semelhante ao padrão encontrado para os preditores regionais, notamos que os efeitos dos preditores locais sobre a ocorrência das espécies lenhosas diferem entre os dois ambientes, e que alguns preditores exercem efeitos mais evidentes (esses efeitos são inferidos pelo número de espécies que responderam a um determinado gradiente). A influência das variáveis edáficas sobre as comunidades CT e CR não é, de fato, uma surpresa, uma vez que esses ambientes possuem diferenças marcantes em relação ao tipo de substrato sobre os quais ocorrem, principalmente em relação ao relevo, à profundidade e ao volume de solo (Pinto et al. 2009; Mews et al. 2016). Consequentemente, esses ambientes apresentam diferenças nos sítios de estabelecimento dos indivíduos, uma vez que o CT ocorre sobre solos planos e profundos e CR sobre solos íngremes, rasos e com afloramentos rochosos (Ribeiro e Walter 2008). Além disso, sabemos que esses ambientes possuem expressiva variação nas propriedades dos solos (Abreu et al. 2012; Mews et al. 2016; Abadia et al. 2018b), fato que acarreta em diferenças nas condições para o estabelecimento dos

indivíduos (Ribeiro e Walter 2008; Pinto et al. 2009) e, conseqüentemente, em variações nos tamanhos populacionais entre os dois ambientes (Mews et al. 2014).

Notavelmente, cinco dos seis preditores nos quais os limiares de substituição de espécies foram maiores no ambiente CR do que no CT (MO, CTC, P, Na e S) são relacionados à disponibilidade de nutrientes para as plantas e o único preditor no qual os limiares de substituição foram maiores no CT do que no CR se refere à textura dos solos (argila). Isso nos permite inferir que, pelo menos em parte, a maior oferta de nutrientes nos solos do ambiente rupestre do que no solo profundo pode garantir particularidades florísticas entre os dois ambientes. Isso porque três propriedades dos solos relativas à fertilidade foram maiores no CR do que no CT (MO, CTC e P), o que resultou em distintos limiares de substituição de espécies entre os dois ambientes. Também podemos citar os gradientes de Mg e Na como importantes determinantes da ocorrência das espécies, uma vez que a disponibilidade desses elementos foi responsável pelos limiares de substituição para um grande número de espécies.

Conclusão. Neste estudo, demonstramos que a ocorrência e a abundância da flora lenhosa em ambientes savânicos que apresentam substratos distintos, mesmo que adjacentes, é determinada por fatores ambientais que atuam regionalmente (principalmente altitude), quanto localmente, representado pelas variáveis edáficas (principalmente macronutrientes como Mg, Na e Ca). Notamos que a variabilidade topográfica e edáfica nesses ambientes parece ter sido mais efetiva para explicar as variações nas respostas das comunidades dos dois ambientes do que os preditores climáticos. Assim, podemos inferir que o conjunto de preditores mais efetivos para explicar diferenças florísticas e de abundância de espécies lenhosas não varia com as características do tipo de substrato, para os dois ambientes. Concluimos que as respostas espécies específicas em ambos os ambientes demonstram que os táxons possuem diferentes limites de tolerância aos fatores abióticos, concordando com a teoria de nicho ecológico de Hutchinson (1957). Apesar de não termos evidenciado claro efeito da variação espacial do clima atual sobre a composição de espécies lenhosas de formações savânicas do Cerrado, não ignoramos o fato de que mudanças temporais do clima no últimos 20 mil anos tenham determinado a atual distribuição da flora e da vegetação do Cerrado, conforme sugerido por Bueno et al. (2016). Por fim, mostramos que a distribuição das comunidades de plantas lenhosas em ambientes rupestres e em solo profundo é multifatorial e depende da escala analisada. Isso torna ainda mais complexa a definição dos preditores mais importantes na distribuição da vegetação lenhosa das savanas, uma vez que estes podem diferir mesmo em ambientes adjacentes na paisagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadia AC, Lenza E, Mews HA, et al (2018a) Savannas on two different substrates in Brazil have a similar species diversity, but distinct edaphic conditions and species composition. *Brazilian J Bot* 41:57–64. <https://doi.org/10.1007/s40415-017-0424-x>
- Abadia AC, Mews HA, Maracahipes-Santos L, et al (2018b) The intrinsic effects of environment and space on the composition of woody plant species vary between Brazilian savannas growing on distinct types of substrate. *Folia Geobot* 53:377–387
- Abreu MF, Pinto JRR, Maracahipes L, et al (2012) Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil. *Brazilian J Bot* 35:259–272. <https://doi.org/10.1590/S1806-99592012000300005>
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, et al (2014) Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift* 22:711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- APG IV (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
- Baker ME, King RS (2010) A new method for detecting and interpreting biodiversity and ecological community thresholds. *Methods Ecol Evol* 1:25–37. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00007.x>
- Bond WJ, Keeley JE (2005) Fire as a global “herbivore”: The ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol Evol* 20:387–394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- Bridgewater S, Ratter JA, Ribeiro JF (2004) Biogeographic patterns, b-diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. *Biodivers Conserv* 13:2295–2318
- Bueno ML, Pennington RT, Dexter KG, et al (2016) Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. *Ecography* 39:1–12. <https://doi.org/10.1111/ecog.01860>
- Campo-Bescós MA, Muñoz-Carpena R, Kaplan DA, et al (2013) Beyond Precipitation : Physiographic Gradients Dictate the Relative Importance of Environmental Drivers on Savanna Vegetation. *PLoS One* 8:15–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072348>
- Castro AAJF, Martins FR, Tamashiro JY, Shepherd GJ (1999) How Rich is the Flora of

- Brazilian Cerrados?. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 86:192–224
- Cole MM (1986) The savannas of South America. In: Cole MM (ed) *The Savannas: biogeography and geobotany*. London: Academic Press, pp 56–58
- Collinson AS (1988) Tropical formations with conspicuous grasslands: savannas. In: Collinson AS (ed) *Introduction to World Vegetation*. Unwin Hyman Ltd, London, pp 232–248
- Crawley MJ, Harral JE (2001) Scale Dependence in Plant Biodiversity. *Science* 291:864–868. <https://doi.org/10.1126/science.291.5505.864>
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67:345–366. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1997\)067\[0345:SAAIST\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAIST]2.0.CO;2)
- Felfili JMS, Silva Jr MC (1993) A comparative study of cerrado (sensu stricto) vegetation in Central Brazil. *J Trop Ecol* 9:277–289. <https://doi.org/10.1017/S0266467400007306>
- Ferreira FG, Machado LEM, Silva-neto CDM, et al (2017) Diversity and indicator species in the cerrado biome, Brazil. *Aust J Crop Sci* 11:1042–1050. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.08.pne615>
- Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol*. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Flora do Brasil 2020 em construção. In: *Jard. botânico do Rio Janeiro*. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Accessed 23 May 2019
- 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>
- Gomes L, Lenza E, Maracahipes L, et al (2011) Comparações florísticas e estruturais entre duas comunidades lenhosas de cerrado típico e cerrado rupestre, Mato Grosso, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 25:865–875. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400013>
- Groffman PM, Baron JS, Blett T, et al (2006) Ecological thresholds: The key to successful environmental management or an important concept with no practical application? *Ecosystems* 9:1–13. <https://doi.org/10.1007/s10021-003-0142-z>
- Huggett AJ (2005) The concept and utility of “ecological thresholds” in biodiversity conservation. *Biol Conserv* 124:301–310. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.037>
- Hutchinson GE (1957) Concluding Remarks. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 22:415–427. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-1022-z>

- Kier G, Mutke J, Dinerstein E, et al (2005) Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *J Biogeogr* 32:1107–1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01272.x>
- King RS, Richardson CJ (2003) Integrating bioassessment and ecological risk assessment: an approach to developing numerical water-quality criteria. *Environ Manage* 31:795–809
- Lehmann CER, Anderson TM, Sankaran M, et al (2014) Savanna Vegetation-Fire-Climate Relationships Differ Among Continents. *Science* 343:548–552. <https://doi.org/10.1126/science.1247355>
- Lemos HL, Pinto JRR, Mews HA, Lenza E (2013) Structure and floristic relationships between Cerrado sensu stricto sites on two types of substrate in northern Cerrado, Brazil. *Biota Neotrop* 13:0–12. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000400013>
- Lenza E, Abadia AC, Menegat H, et al (2017) Does fire determine distinct floristic composition of two Cerrado savanna communities on different substrates? *Acta Bot Brasilica* 31:250–259. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0198>
- Lenza E, Pinto JRR, Pinto ADS, et al (2011) Comparação da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de cerrado rupestre na Chapada dos Veadeiros, Goiás, e áreas de cerrado sentido restrito do Bioma Cerrado. *Rev Bras Botânica* 34:247–259. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300002>
- Lima TA, Pinto JRR, Lenza E, Pinto ADS (2010) Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de cerrado rupestre no parque estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. *Biota Neotrop* 10:0–0. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000200020>
- Marimon Junior BH, Haridasan M (2005) Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerrado 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>
- Mews HA, Pinto JRR, Eisenlohr PV, Lenza E (2016) No evidence of intrinsic spatial processes driving Neotropical savanna vegetation on different substrates. *Biotropica* 48:433–442
- Mews HA, Pinto JRR, Eisenlohr P V, Lenza E (2014) Does size matter? Conservation implications of differing woody population sizes with equivalent occurrence and diversity of species for threatened savanna habitats. *Biodivers Conserv* 23:1119–1131. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0651-4>

- Morandi PS, Marimon BS, Marimon-Junior BH, et al (2018) Tree diversity and above-ground biomass in the South America Cerrado biome and their conservation implications. *Biodivers Conserv*. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1589-8>
- Murphy BP, Andersen AN, Parr CL, Murphy BP (2016) The underestimated biodiversity of tropical grassy biomes. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 371:1–12. <https://doi.org/doi.org/10.1098/rstb.2015.0319>
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858
- Naimi B, Hamm NAS, Groen TA, et al (2014) Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography* 37:191–203. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>
- Oliveira-Filho AT, Ratter JA (2002) Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Biome. In: Oliveira PS, Marquis RJ (eds) *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, pp 91–120
- Pinto JRR, Lenza E, Pinto ADS (2009) Composição florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em um cerrado rupestre, Cocalzinho de Goiás, Goiás. *Rev Bras Botânica* 32:23–32. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000100002>
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing
- 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>
- Ribeiro JF, Walter BMT (2008) As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro JF (ed) *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa-CPAC, Planaltina, pp 151–212
- Ruggiero PGC, Batalha MA, Pivello VR, Meirelles ST (2002) Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecol* 160:1–16. <https://doi.org/10.1023/A:1015819219386>
- Sankaran M, Hanan NP, Scholes RJ, et al (2005) Determinants of woody cover in African savannas. *Nature* 438:846–849. <https://doi.org/10.1038/nature04070>
- Sano EE, Rodrigues AA, Martins ES, et al (2019) Cerrado ecoregions : A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *J Environ Manage* 232:818–828. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>
- Santos TRR, Pinto JRR, Lenza E (2012) Floristic relationships of the woody component in

- rocky outcrops savanna areas in Central Brazil. *Flora* 207:541–550.
<https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.06.015>
- Scholes RJ, Archer SR (1997) Tree-Grass interactions in Savannas. *Annu Rev Ecol Syst* 28:517–544. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.517>
- Silva JF, Fariñas MR, Felfili JM, Klink CA (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *J Biogeogr* 33:536–548.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01422.x>
- Silva JMC, 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)
- Vaughn NR, Asner GP, Smit IPJ, Riddel ES (2015) Multiple scales of control on the structure and spatial distribution of woody vegetation in African Savanna Watersheds. *PLoS One* 10:1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145192>
- Villalobos-Vega R, Salazar A, Miralles-Wilhelm F, et al (2014) Do groundwater dynamics drive spatial patterns of tree density and diversity in Neotropical savannas? *J Veg Sci* 25:1465–1473. <https://doi.org/10.1111/jvs.12194>
- Vincent RDEC, Meguro M (2008) Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Rev Bras Botânica* 3:377–388
- Young MD, Solbrig OT (1993) Economic and ecological driving forces affecting tropical savannas. In: Young MD, Solbrig OT (eds) *The world's savannas: economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use*. Parthenon Publishing, New York, pp 3–18

CAPÍTULO 2. Quais são os padrões e os mecanismos promotores da diversidade beta de comunidades de plantas lenhosas em savanas neotropicais sobre distintos substratos?²

RESUMO

A riqueza de plantas das savanas neotropicais é uma das maiores do planeta e pode ser explicada tanto pela alta riqueza local, ou diversidade alfa, quanto pela substituição de espécies entre habitats, ou diversidade beta. Aqui, investigamos as variações na composição de espécies lenhosas e nas propriedades edáficas, climáticas e altitudinais entre savanas sobre afloramentos rochosos e em relevos íngremes (Cerrado Rupestre) e savanas sobre solos profundos e em relevos planos (Cerrado Típico). Nosso objetivo foi de comparar os padrões e processos ecológicos estruturadores das comunidades vegetais entre os dois habitats. Realizamos duas PERMANOVAs e duas PERMDISP para comparar a composição florística e as variáveis ambientais entre CR e CT. Calculamos e particionamos a diversidade beta nos dois ambientes. Avaliamos a Contribuição Local para a Diversidade Beta de cada sítio amostral para cada ambiente separadamente. Mostramos que o Cerrado Rupestre e o Cerrado Típico diferem quanto a composição florística, mas não em relação às variáveis ambientais. Além disso, confirmamos a elevada diversidade beta da flora lenhosa do bioma Cerrado, a qual é regida predominantemente pela alta substituição de espécies entre as áreas (*turnover*) nos dois habitats. Os sítios localizados nas regiões mais elevadas e centrais e nas regiões mais periféricas e menos elevadas do Cerrado foram aqueles que mais contribuíram para a diversidade beta. Concluimos que a elevada substituição de espécies entre sítios dos dois habitats, particularmente aqueles do centro e da periferia do Cerrado, tornam essas regiões importantes reservatórios de espécies e por isso com alta relevância para a conservação da flora lenhosa do Cerrado.

Palavras-chave: Cerrado; relação solo-vegetação; padrões florísticos; fitogeografia; heterogeneidade ambiental.

² A ser submetido para publicação no periódico: Plant Ecology and Diversity.

ABSTRACT

Neotropical savannas have one of the greatest diversity of plant species on the globe. Despite this knowledge, there are still gaps about the causes of floristic diversity in these environments. Here we investigate variations in the composition and beta diversity of woody species, as well as changes in edaphic, climatic and altitudinal properties in savanna environments that occur on different substrates and in adjacent areas, to elucidate the ecological patterns and process that structure these environments. We show that environments with shallow soils with rocky outcrops and steep relief (Rocky Cerrado) and environments with deep soils and flat relief (Typical Cerrado) differ in terms of floristic composition, but not in relation to environment variables. In addition, we confirm the high beta diversity of the woody flora of the Cerrado biome, which is governed by the high substitution of species between areas (turnover). The sites located in the highest and central portions and those located in the peripheric areas of the Cerrado showed singular flora, with distinct species that indicate each environment. We conclude that savanna environments on different substrates have a high substitution of species, with notable variation and floristic particularities, despite the little variation in the environmental. This makes the cerrados of these places important reservoirs of species with high floristic particularity, and consequently high relevance for the conservation of flora in the Cerrado.

Keywords: Cerrado; soil-vegetation relationship; floristic patterns; phytogeography; environmental heterogeneity.

1. INTRODUÇÃO

As savanas neotropicais são amplamente distribuídas no mundo e apresentam notável complexidade de ambientes (Cole 1986) e, por isso, abrigam uma das maiores diversidades de espécies de plantas da Terra (Kier et al. 2005; Murphy et al. 2016). A elevada variedade de ambientes e a expressiva diversidade de espécies têm sido associadas a distintos fatores, tanto regionais e históricos, como clima e as flutuações climáticas do Quaternário atuando em larga escala geográfica (Werneck et al. 2012; Fitzpatrick et al. 2013; Bueno et al. 2016), quanto locais como propriedades edáficas e a capacidade hídrica do solo (Oliveira-Filho e Ratter 2002; Mews et al. 2016). Apesar desse conhecimento, ainda faltam informações sobre as causas da notável diversidade florística das savanas neotropicais, principalmente porque os principais fatores estruturadores da vegetação são distintos e mudam dependendo da escala espacial analisada (Sankaran et al. 2005; Lehmann et al. 2014; Mews et al. 2016).

O Cerrado, a maior savana neotropical (Cole 1986), possui ampla variação edáfica, geomorfológica (Silva et al. 2006) e climática (Silva et al. 2008; Alvares et al. 2013; Sano et al. 2019), além de elevada complexidade de habitats (Oliveira-Filho e Ratter 2002; Ribeiro e Walter 2008). É sugerido também que a grande área de abrangência deste bioma, associado as variações ambientais e a influência dos biomas adjacentes, promovem a distinção florística entre localidades ao longo do Cerrado (Méio et al. 2003; França et al. 2016), e conseqüentemente alta diversidade beta entre regiões e ambientes (Ratter et al. 2003; Bridgewater et al. 2004). Desse modo, é possível sugerir que a elevada riqueza de espécies registrada no Cerrado é consequência das interações entre a heterogeneidade ambiental, variações fitofisionômicas e a mudança da flora em distintas escalas espaciais. Avaliações florísticas da vegetação do Cerrado em escala regional foram conduzidas apenas nas últimas quatro décadas (Felfili e Silva Jr. 1993; Castro et al. 1998; Ratter et al. 2003; Bridgewater et al. 2004; França et al. 2016). Esses estudos deram grandes contribuições para o conhecimento da riqueza e da distribuição da flora do Cerrado e levaram à criação de mapas com distintas províncias florísticas (e.g. Ratter et al. 2003; Amaral et al. 2017; França et al. 2019) ou ecorregiões (Sano et al. 2019; Silva et al. 2006), revelando claros padrões de distribuição da diversidade da flora. Já os estudos que investigaram as relações entre as condições ambientais e a flora do Cerrado em larga escala surgiram a partir das duas últimas décadas (Ratter et al. 2003; Bridgewater et al. 2004). Os referidos autores evidenciaram clara relação entre a altitude, o relevo, a

drenagem, as características edáficas e a vegetação. Ainda, outros estudos evidenciaram a influência florística das duas florestas tropicais da América do Sul (Amazônia e Mata Atlântica) sobre a flora do Cerrado (Méio et al. 2003; Mews et al. 2012; Françoise et al. 2019). Em menor escala geográfica há também ampla variação na flora do Cerrado, que é composta por distintas fisionomias (Eiten 1972; Ribeiro e Walter 2008).

Nessa escala menor ou de paisagem, a distinção entre as fitofisionomias considera tanto a estrutura da vegetação e a composição florística, quanto as variáveis ambientais locais (Ribeiro e Walter 2008). Por exemplo, o Cerrado Típico (CT) ocorre sobre solos planos, profundos e bem drenados, geralmente Latossolos e Cambissolos (Reatto et al. 2008), enquanto o Cerrado Rupestre (CR) se estabelece em relevo acidentado, solos rasos e com afloramento rochoso (Ribeiro e Walter 2008), geralmente Neossolos Litólicos (Benites et al. 2007). Além disso, é sabido que a densidade de plantas é menor no CR devido às limitações do substrato ao estabelecimento das espécies lenhosas (Mews et al. 2014). Por outro lado, possuem riqueza similar (Mews et al. 2014; Abadia et al. 2018a), o que levou Abadia et al. (2018a) a proporem que a maior heterogeneidade dentro e entre sítios de CR possibilita o estabelecimento de distintas espécies, o que promove uma diversidade semelhante entre os dois ambientes.

Apesar de todo o conhecimento já produzido nos últimos anos sobre a vegetação lenhosa em ambientes rupestres, esse se limita a algumas regiões do Cerrado (Amaral et al. 2006; Pinto et al. 2009; Lenza et al. 2011; Abreu et al. 2012; Lemos et al. 2013; Abadia et al. 2018a) e ainda não há estudos que avaliem os efeitos dos substratos sobre os padrões da diversidade beta entre esses ambientes (CR e CT) que ocorrem adjacentes na paisagem do bioma. Nesse sentido, sabe-se que os padrões de diversidade beta são resultantes de diferentes processos atuando em distintas escalas espaciais e temporais (Gaston 2000; Leibold et al. 2004; Cottenie 2005).

Desse modo, a análise dos padrões da diversidade beta, considerando os dois componentes que a compõem, possibilita identificar processos envolvidos na padrões de diversidade de espécies entre sítios (Baselga 2010). O primeiro componente é a substituição de espécies (*turnover*), no qual a dissimilaridade florística é resultante da rotatividade de espécies entre sítios (Baselga 2010; Legendre 2014; Baselga e Leprieur 2015). O segundo componente, o aninhamento (*nestedness*), ocorre quando a dissimilaridade entre comunidades se deve à perda de espécies em alguns sítios, que são meros subconjuntos de espécies de sítios mais ricos. Desse modo, a diversidade beta é o somatório desses componentes e a contribuição de cada um deles pode variar entre os

ambientes, uma vez que são dependentes dos processos ecológicos estruturadores das comunidades (Baselga 2010), mas que também podem variar em função da composição particular de espécies (Legendre e De Cáceres 2013; Legendre 2014).

Aqui, nós investigamos os padrões da diversidade beta de espécies lenhosas, assim como os processos (solos, clima e relevo) em diferentes localidades e considerando dois ambientes sobre substratos distintos (Cerrado Rupestre e Cerrado Típico), ao longo do bioma Cerrado, para responder às seguintes perguntas: 1. Há diferenças na composição de espécies lenhosas e nas variáveis ambientais entre os dois ambientes? 2. Em qual dos ambientes há maior variação ambiental? 3. Os componentes da diversidade beta (substituição e aninhamento) diferem entre os ambientes? 4. Quais sítios de Cerrado Rupestre e de Cerrado Típico têm maior contribuição para a diversidade regional (gama de plantas lenhosas)?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Compilamos dados de ocorrência e abundância de espécies lenhosas em dois ambientes distintos e adjacentes, totalizando 32 sítios de vegetação savânica em 16 localidades no Brasil Central (Tabela 1). O primeiro ambiente é caracterizado por relevo plano e solos profundos sobre o qual se estabelece a fitofisionomia do Cerrado Típico (CT) e o segundo é caracterizado por relevo íngreme, solos rasos e com afloramentos rochosos, sobre o qual ocorre o Cerrado Rupestre (CR) (Ribeiro e Walter 2008).

No CT, o solo é classificado predominantemente como Latossolo, e ocorrem em aproximadamente 50% do bioma Cerrado (Reatto et al. 2008). Por outro lado, no CR, os solos são classificados como Neossolos Litólicos, frequentemente originados de arenitos e quartzitos (Benites et al. 2007), e ocorrem em 7,5% do bioma (Reatto et al. 2008). O clima na região é do tipo Aw de Köppen, com períodos seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março) bem definidos (Alvares et al. 2013). A precipitação total anual variara de 1.527 a 1.686 mm e a média mensal de temperatura de 20,2 e 25,2°C, respectivamente.

Tabela 1. Características dos sítios amostrados em savanas sobre solos rasos e relevo íngreme (Cerrado Rupestre) e sobre solos profundos e planos (Cerrado Típico), amostrados no Cerrado. Sítio = nome abreviado da localidade, bem como do tipo de vegetação: CT = Cerrado Típico e CR = Cerrado Rupestre; GO = Goiás; TO = Tocantins e MT = Mato Grosso. Os dados climáticos foram extraídos da base de dados do Worldclim

Localidade	Sítios	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Altitude (m)	Longitude (W)	Latitude (S)
Alto Paraíso de Goiás (GO) ¹	ALPA-CT	1.663	21,0	1.179	-47.718	-14.142
	ALPA-CR	1.665	20,9	1.162	-47.607	-14.157
Caldas Novas (GO) ¹	CANO-CT	1.546	21,1	1.001	-48.685	-17.759
	CANO-CR	1.527	21,6	901	-48.664	-17.795
Cavalcante (GO) ¹	CAVA-CT	1.639	23,1	784	-47.414	-13.75
	CAVA-CR	1.645	23,6	814	-47.395	-13.792
Cristalina (GO) ¹	CRIS-CT	1.542	20,5	1.049	-47.697	-16.725
	CRIS-CR	1.558	20,2	1.123	-47.573	-16.792
Jaraguá (GO) ¹	JARA-CT	1.648	22,5	870	-49.333	-15.799
	JARA-CR	1.650	22,7	790	-49.343	-15.793
Mara Rosa (GO) ¹	MARA-CT	1.548	24,1	564	-49.050	-14.037
	MARA-CR	1.540	24,0	577	-49.003	-14.032
Mineiros (GO) ¹	MINE-CT	1.577	22,2	702	-52.019	-18.483
	MINE-CR	1.637	21,9	760	-52.278	-17.665
Nazário (GO) ¹	NAZA-CT	1.686	22,5	844	-49.785	-16.625
	NAZA-CR	1.683	22,2	735	-49.759	-16.683
Piranhas (GO) ¹	PIRA-CT	1.634	22,6	756	-51.896	-16.456
	PIRA-CR	1.633	22,6	725	-51.899	-16.449
Pirenópolis (GO) ¹	PIRE-CT	1.633	20,4	1.254	-48.829	-15.798
	PIRE-CR	1.634	20,5	1.179	-48.828	-15.804
Palmas (TO) ²	PALM-CT	1.617	25,1	200	-48.368	-10.214
	PALM-CR	1.641	24,5	400	-48.279	-10.178
Natividade (TO) ²	NATI-CT	1.609	25,4	300	-48.410	-11.643
	NATI-CR	1.567	23,4	1.000	-47.702	-11.693

Ribeirão Cascalheira (MT) ³	RIBE-CT	1.545	25,7	325	-51.750	-12.833
	RIBE-CR	1.531	25,5	403	-51.750	-13.000
Nova Xavantina (MT) ⁴	NOXA1-CT	1.559	24,7	340	-52.349	-14.707
	NOXA1-CR	1.560	24,5	380	-52.347	-14.711
Nova Xavantina (MT) ³	NOXA2-CT	1.546	24,7	300	-52.578	-14.733
	NOXA2-CR	1.540	24,0	410	-52.550	-14.744
Nova Xavantina (MT) ³	NOXA3-CT	1.582	24,1	440	-52.567	-14.800
	NOXA3-CR	1.573	24,3	340	-52.583	-14.800

¹Mews et al. (2014, 2016); ²Lemos et al. (2013); ³Abadia et al. (2018a); ⁴Gomes et al. (2011)

2.2. Coleta de dados

Em cada localidade foram amostradas a vegetação lenhosa em dois sítios adjacentes, um de CT e outro de CR, adotando metodologia padronizada (Felfili et al. 2005). Em cada sítio, foram marcadas 10 parcelas de 20 m × 50 m (totalizando 1 hectare por sítio), onde todas as plantas lenhosas com diâmetro ≥ 5 cm a 30 cm do solo, incluindo lianas e monocotiledôneas das famílias Velloziaceae e Arecaceae foram amostradas. A nomenclatura dos táxons foi conferida e padronizada seguindo a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2020), utilizando o sistema de classificação botânica APG IV (2016). Foram obtidas as coordenadas geográficas e a altitude de cada sítio *in loco* utilizando GPS.

Foram coletadas 10 amostras de solos da camada superficial (0-20 cm de profundidade) em cada sítio, uma vez que esta camada é a mais correlacionada com a vegetação do Cerrado (Ruggiero et al. 2002). As amostras de solo foram submetidas à análise das propriedades químicas e granulométricas, o que resultou em 15 variáveis edáficas, seguindo o protocolo da EMBRAPA (2013). Foram utilizadas como variáveis climáticas: temperatura média anual, precipitação total anual e sazonalidade de temperatura extraídas da base de dados *WorldClim 2.0*, com resolução espacial de 30 segundos (Fick e Hijmans 2017).

2.3. Preparação e análise de dados

Para reduzir a multicolinearidade, submetemos as variáveis ao cálculo do Fator de Inflação da Variância (*Variance Inflation Factor* – VIF). Nas análises realizadas mantivemos somente as variáveis com $VIF < 3$ (Quinn e Keough 2002). Assim, incluímos nas análises 12 variáveis ambientais (veja Apêndice 1).

Para comparar a composição de espécies e as variáveis ambientais (clima, solos e altitude) entre os ambientes CT e CR usamos duas PERMANOVAs (Anderson 2001), uma para a composição de espécies e outra para as variáveis ambientais. Para verificar qual dos ambientes apresenta maior heterogeneidade na composição florística e nas variáveis ambientais aplicamos uma Análise de Dispersão Multivariada de grupos - PERMDISP (Anderson 2006). Nessas análises (PERMANOVA e PERMDISP), usamos a medida de distância de Bray-Curtis para as comparações florísticas baseadas na abundância das espécies, e a medida de distância euclidiana para as comparações baseadas nos dados dos solos (Anderson 2001). Para testar a significância da PERMDISP, aplicamos o teste de Monte Carlo.

Para identificar as espécies mais associadas a cada ambiente aplicamos a análise de espécies indicadoras – INDVAL (Dufrene e Legendre 1997). Essa análise combina o grau de especificidade e a fidelidade das espécies em cada local, variando de 0 a 1, onde o $IndVal_{max}$ é o maior valor atingido pelas espécies no local. Para testar a significância estatística, nós utilizamos o teste de Monte Carlo.

Para avaliar os padrões de diversidade beta dos ambientes, preparamos uma matriz de ocorrência das espécies por sítio e calculamos o índice de dissimilaridade de *Jaccard*. A partir dessa matriz, calculamos a diversidade beta total para cada ambiente e particionamos a diversidade beta em dois componentes: substituição de espécies (*turnover*) e aninhamento (*nestedness*) (Baselga 2010). Assim, a diversidade beta total, ou seja, a diversidade entre um conjunto de amostras, é obtida pela soma dos componentes de substituição e aninhamento (Baselga 2010).

Para avaliar a Contribuição Local para a Diversidade Beta (LCBD), inicialmente aplicamos a transformação de Hellinger na matriz de abundância das espécies nos ambientes CT e CR (Legendre e Gallagher 2001) e, posteriormente, realizamos a análise de LCBD para cada ambiente separadamente. O LCBD fornece uma medida relativa da singularidade na composição de espécies de um sítio de amostragem para a diversidade beta total (Legendre e De Cáceres 2013). Para avaliar a significância da diversidade beta entre os sítios de cada ambiente separadamente, utilizamos o teste de Monte Carlo. Também plotamos o resultado do LCBD para visualizar as regiões do Cerrado que apresentam maior contribuição para a diversidade regional.

Realizamos todas as análises no ambiente R 3.5.0 (R Core Team 2018). Empregamos 9.999 aleatorizações nos métodos baseados em permutação (PERMANOVA, PERMDISP e testes de Monte Carlo) e adotamos nível de significância de 5% em todas as análises. Na PERMANOVA e PERMDISP, usamos as funções, respectivamente, a função *adonis()* e *betadisper()*, respectivamente, do pacote *vegan* (Oksanen et al. 2015). No *Indval*, usamos a função *multipatt()* do pacote *indicspecies* (De Cáceres e Legendre 2009). Na verificação da contribuição de cada componente na variação total da diversidade, utilizamos a função *beta.multi()* do pacote *betapart* (Baselga et al. 2018) e calculamos o LCBD utilizando a função *beta.div()* do pacote *adespatial* (Dray et al. 2016).

3. RESULTADOS

Do total de 319 espécies de plantas amostradas (267 no CR e 228 no CT), 91 (28,5% do total) ocorreram apenas no Cerrado Rupestre e 52 (16,3% do total) apenas no Cerrado Típico (Apêndice 2). A composição de espécies diferiu entre o Cerrado Típico e Cerrado Rupestre (PERMANOVA - $F_{(1, 30)} = 1,996$; $p = 0,002$), apesar de 176 espécies (55,2% do total terem sido compartilhadas entre os dois habitats. Os dois habitats não diferiram quanto às propriedades edáficas e climáticas (PERMANOVA - $F_{(1, 30)} = 0,962$; $p = 0,372$) nem quanto à heterogeneidade da composição de espécies (PERMDISP - $F_{(1, 30)} = 3,480$; $p = 0,076$) e das propriedades edáficas e climáticas (PERMDISP - $F_{(1, 30)} = 0,238$; $p = 0,633$). Entre as espécies amostradas no CR, apenas seis (2,2% do total) foram consideradas indicadoras desse ambiente, enquanto no CT nove espécies (4,0% do total) foram consideradas indicadoras desse ambiente (Tabela 2).

Tabela 2. Espécies indicadoras (*IndVal*) de savanas sobre solos rasos e relevo íngreme (Cerrado Rupestre - CR) e sobre solos profundos e planos (Cerrado Típico) - CT) amostrados no Cerrado. N = Número de indivíduos em cada ambiente; S = Número de sítios onde a espécie ocorre e p = nível de significância do *IndVal*.

Ambientes / Espécies	IndVal	p	N (ind.ha ⁻¹)		S
			CR	CT	
Cerrado Rupestre					
<i>Schwartzia adamantium</i> (Cambess.) Bedell ex Gir.-Cañas	0,707	0,005	208	0	8
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	0,651	0,030	30	1	7
<i>Banisteriopsis latifolia</i> (A. Juss.) B. Gates	0,629	0,030	57	15	8
<i>Vochysia gardneri</i> Warm.	0,603	0,045	405	82	7
<i>Wunderlichia cruelsiana</i> Taub.	0,559	0,050	176	0	5
<i>Wunderlichia mirabilis</i> Riedel ex Baker	0,559	0,050	113	0	5
Cerrado Típico					
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	0,830	0,005	41	228	13
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F. Macbr.	0,803	0,005	1	15	11
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	0,758	0,025	12	138	10
<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.-Hil.	0,745	0,015	9	72	10
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	0,740	0,005	4	142	9
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	0,737	0,035	31	205	10
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	0,713	0,050	21	92	10
<i>Stryphnodendron rotundifolium</i> Mart.	0,694	0,010	2	51	8
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	0,661	0,010	0	101	7

A diversidade beta total apresentou elevados valores nos dois ambientes (CR = 0,958 e CT = 0,949). Os componentes da diversidade beta não diferiram entre CR e CT, onde a maior parte da diversidade ocorreu por substituição de espécies (*turnover* 95% e 94% da diversidade global em CR e CT, respectivamente) e uma pequena parte por aninhamento (*nestedness*) (Figura 2).

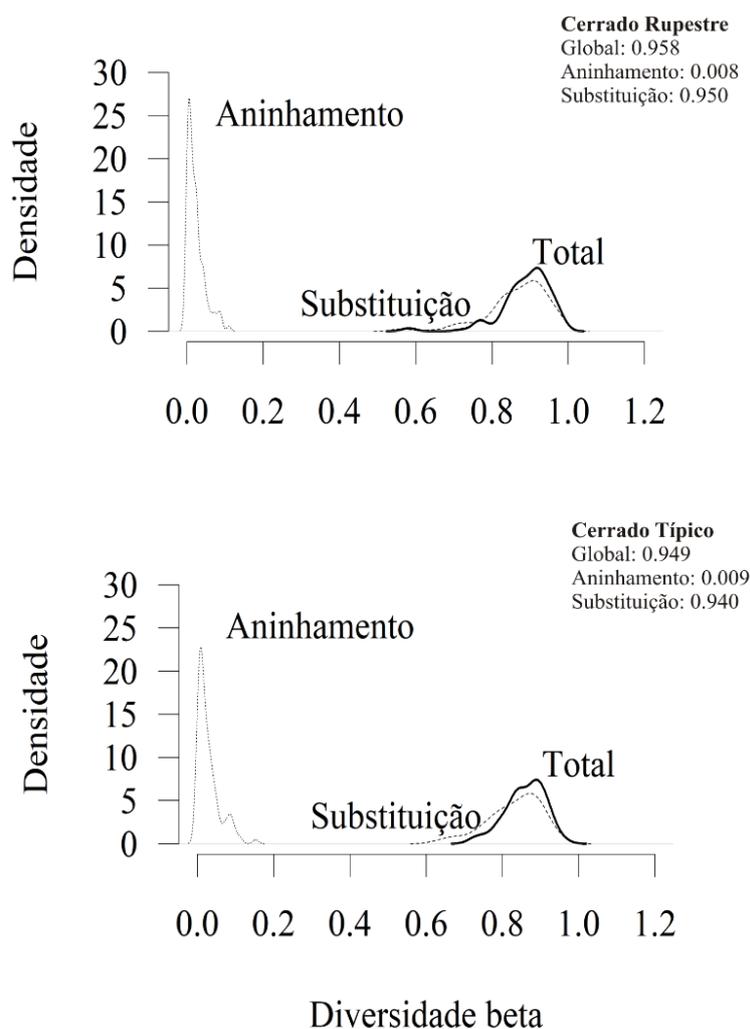


Figura 2. Partição da diversidade beta global, em componentes de substituição e de aninhamento de plantas lenhosas em savanas sobre solos rasos e relevo íngreme (Cerrado Rupestre) e sobre solos profundos e planos (Cerrado Típico) amostrados no Cerrado.

Os valores de LCDB no CR variaram entre 0,040 e 0,104 e apenas três sítios contribuíram significativamente para a diversidade beta nesse ambiente (ALPA, NOXA2 PIRE). No CT, os valores variaram entre 0,043 e 0,097, e somente dois sítios apresentaram valores significativos de LCDB, em relação aos demais sítios amostrados (ALPA e PALM) (Tabela 2; Figura 3). Apenas um sítio localizado no planalto central

contribuiu significativamente para a diversidade beta nos dois ambientes e foi também o único no qual os valores de LCDB foram altamente significativos ($p < 0,001$) (Tabela 3).

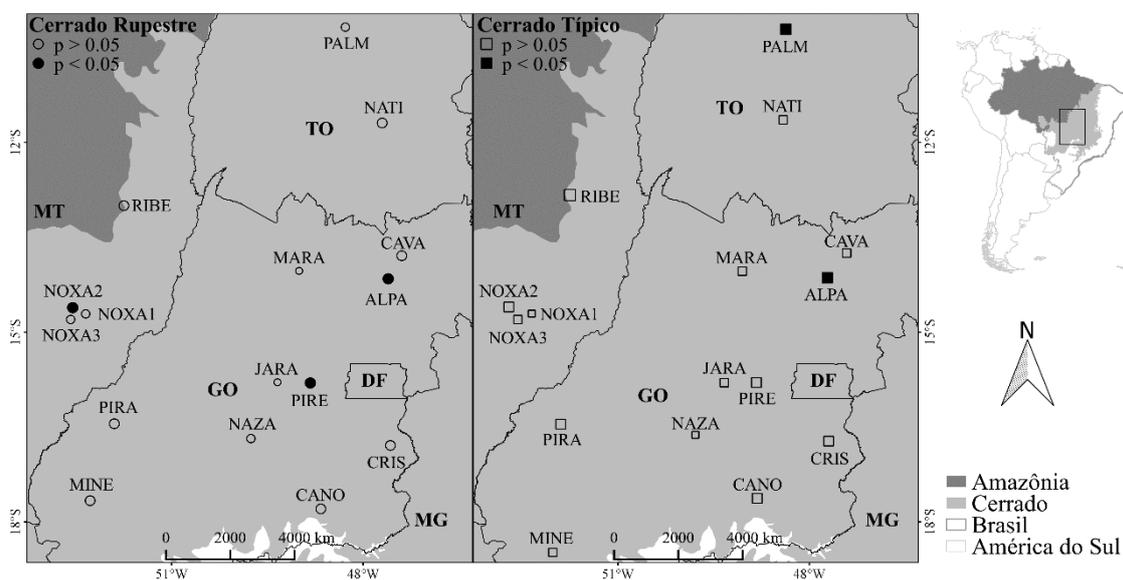


Figura 3. Distribuição espacial dos sítios de plantas lenhosas em savanas sobre solos rasos e relevo íngreme (Cerrado Rupestre) e sobre solos profundos e planos (Cerrado Típico) amostrados no Cerrado, a partir da análise de contribuição local para diversidade beta (LCBD). Símbolos abertos e fechados para sítios sem e com contribuição local significativa para diversidade beta, respectivamente.

Tabela 3. Valores de Contribuições Locais para Diversidade Beta (LCDB) para as espécies lenhosas em savanas sobre solos rasos e relevo íngreme (Cerrado Rupestre) e sobre solos profundos e relevo plano (Cerrado Típico) amostradas no Cerrado. N = número de indivíduos; S = riqueza de espécies e $p \leq 0,05$.

Localidade (Estado)	Sítio	Cerrado Rupestre				Cerrado Típico			
		N	S	LCDB	<i>p</i>	N	R	LCDB	<i>p</i>
Alto Paraíso de Goiás (GO)	ALPA	1977	71	0,104	0,001	2054	80	0,097	0,001
Caldas Novas (GO)	CANO	1357	66	0,066	0,290	1658	59	0,068	0,271
Cavalcante (GO)	CAVA	1320	80	0,062	0,496	1374	84	0,053	0,851
Cristalina (GO)	CRIS	945	80	0,063	0,411	1301	70	0,063	0,442
Jaraguá (GO)	JARA	1753	61	0,042	1,000	1913	63	0,052	0,892
Mara Rosa (GO)	MARA	1161	66	0,040	1,000	1352	82	0,058	0,667
Mineiros (GO)	MINE	1800	84	0,064	0,392	3457	88	0,059	0,607
Natividade (TO)	NATI	997	54	0,067	0,273	1210	82	0,058	0,633
Nazário (GO)	NAZA	1183	61	0,049	0,987	1184	64	0,043	0,998
Nova Xavantina (MT)	NOXA1	1630	72	0,051	0,956	1590	89	0,047	0,962
Nova Xavantina (MT)	NOXA2	758	54	0,080	0,034	1543	81	0,068	0,271
Nova Xavantina (MT)	NOXA3	1409	75	0,057	0,763	1351	68	0,051	0,887
Palmas (TO)	PALM	857	80	0,052	0,952	1021	62	0,088	0,006
Piranhas (GO)	PIRA	931	61	0,067	0,260	1078	58	0,062	0,511
Pirenópolis (GO)	PIRE	614	61	0,078	0,048	1148	54	0,061	0,534
Ribeirão Cascalheira (MT)	RIBE	796	64	0,060	0,609	1690	75	0,071	0,166

Valores estatisticamente significativos pelo teste de Monte Carlo (5%) são apresentados em negrito.

4. DISCUSSÃO

Neste estudo, mostramos que há dissimilaridade da flora lenhosa entre Cerrado Rupestre e Cerrado Típico, embora as propriedades edáficas, climáticas e do relevo não tenham diferido entre esses habitats. Evidenciamos também que a heterogeneidade florística e a ambiental não diferem entre dois habitats na escala aqui analisada. Ainda assim, verificamos que há um pequeno número de espécies indicadoras de cada um dos dois ambientes. Constatamos também que a diversidade beta da flora lenhosa entre os sítios de ambos os habitats é quase exclusivamente determinada pela substituição de espécies e que poucos sítios contribuíram significativamente no cômputo da diversidade beta. A seguir, discutiremos nossos principais achados e suas implicações para os padrões de diversidade das plantas lenhosas das formações savânicas do Cerrado, a maior e mais rica savana neotropical.

É sabido que a heterogeneidade ambiental exerce influência sobre a diversidade de espécies em ambientes rochosos em diversas regiões do mundo, uma vez que estes ambientes são altamente variáveis quanto a topografia, geologia e substrato (Spehn e Körner 2005; Lambrinos et al. 2006; Neves et al. 2018). No Cerrado, alguns estudos fitogeográficos de comunidades lenhosas têm sugerido que as variações na composição florística entre CR e CT ocorrem principalmente em função das características dos substratos (Mews et al. 2016; Abadia et al. 2018b), uma vez que esses ambientes diferem largamente quanto a profundidade e volume do solo e em relação ao relevo (Reatto et al. 2008; Ribeiro e Walter 2008). No ambiente rupestre, as plantas se estabelecem nas fendas entre as rochas, onde há maior acúmulo de água e matéria orgânica, o que forma micro-habitat com distintas características do solo (Benites et al. 2007). Apesar dessas diferenças entre Cerrado Rupestre e Cerrado Típico (Ribeiro e Walter 2008, Pinto et al. 2009), encontramos aqui semelhanças quanto a textura e as propriedades químicas dos solos entre esses ambientes. Sendo assim, acreditamos que a disponibilidade hídrica, não medida aqui, é provavelmente importante preditora dos padrões florísticos entre ambientes de Cerrado (Oliveira-Filho et al. 1989; Oliveira-Filho e Ratter 2002; Ferreira et al. 2009), uma vez que no Cerrado Rupestre há maior déficit hídrico em função da barreira imposta pelas rochas à penetração de água nos solos.

Assim, como não encontramos diferenças nas propriedades edáficas entre o Cerrado Rupestre e o Cerrado Típico, também não evidenciamos distinta heterogeneidade florística e edáfica entre os dois habitats. Entretanto, estudo em menor escala, encontrou

que o CR apresenta maior heterogeneidade da flora lenhosa e do solo quando comparado ao CT (Abadia et al. 2018a). Os referidos autores sugerem que a maior variação dos solos entre os sítios do CR possibilita a ocorrência de diferentes espécies, e isso torna os dois ambientes semelhantes na diversidade de espécies, apesar das menores abundâncias encontradas no CR (Mews et al. 2014; Abadia et al. 2018a). Acreditamos que os resultados divergentes entre o presente estudo e aquele de Abadia et al. (2018a) sejam em função da escala espacial analisada, já que no referido trabalho as unidades amostrais foram as parcelas dentro de cada sítio e não os sítios, como no presente estudo. Assim, é possível afirmar que há maior variação edáfica entre parcelas dentro de um sítio (Abadia et al. 2018a), mas quando analisamos a variação dos solos entre localidades e em maior escala geográfica, os ambientes não diferem. Isso sugere que a heterogeneidade ambiental, no ambiente rupestre, é promovida por fatores edáficos locais (Abadia et al. 2018a), uma vez que os preditores regionais agem de maneira semelhante sobre a composição e, conseqüentemente, sobre a riqueza de espécies entre os dois ambientes (Abadia et al. em preparação).

Mostramos aqui que o principal mecanismo promotor da diversidade beta de espécies para os dois habitats analisados foi a rotatividade (turnover) e que a perda de espécies (nestedness) entre sítios explicou pouco a dissimilaridade entre eles. De fato, diferentes estudos comparativos entre Cerrado Típico e Rupestre mostram que a riqueza local nos dois habitats é alta e varia pouco entre sítios (Abadia et al. 2018; Mews et al. 2014), sugerindo que se há dissimilaridade de espécies entre sítios de um mesmo habitat ela é promovida substituição de espécies. Isso é ainda confirmado pelo fato de que cerca de 35-52% das espécies lenhosas registradas no Cerrado ocorrem em um único distrito fitogeográfico (Ratter et al. 2003; Bridgewater et al. 2004). Esse padrão também está relacionado à grande heterogeneidade florística do Cerrado, com elevada diversidade e endemismo de espécies, o que ocasiona diferentes padrões fitogeográficos (Ratter et al. 2003; Bridgewater et al. 2004; França et al. 2016; Amaral et al. 2017). Nossos resultados das análises de LCDB permitem afirmar que essa heterogeneidade regional da flora das formações savânicas do bioma Cerrado é promovida pela substituição gradual de espécies entre sítios. Assim, apesar de muitos sítios não terem contribuído de maneira significativa para a diversidade beta nos dois habitats (valores não significativos de LCDB) eles parecem representar um gradiente florístico desde as porções mais elevadas e centrais do Cerrado (com altitudes entre 900 e 1100 m), como os municípios de Alto

Paraíso e Pirenópolis, ou nas porções mais baixas e periféricas do bioma (entre 200 e 440 m de altitude), municípios de Nova Xavantina e de Palmas.

Acreditamos que os sítios nas porções mais centrais e mais periféricas do Cerrado apresentam flora particular em função de suas características geográficas e topográficas. Além dos fatores abióticos, as espécies arbóreas do Cerrado também são influenciadas pelas contribuições florísticas dos biomas adjacentes (Méio et al. 2003), principalmente nas zonas periféricas e distantes da porção central do bioma, o que resulta em comunidades com composição de espécies diferentes daquelas porções centrais do bioma (Françoso et al. 2016). Esse padrão se repetiu no presente estudo, pois os sítios localizados nas áreas de transição com a Amazônia (PALM e NOXA2), apresentaram flora singular quando comparada a outros sítios. Além disso, destacamos a singularidade florística dos sítios que ocorrem em maiores altitudes e na porção central do Cerrado (ALPA e PIRE). Esses sítios possuem elevada riqueza de espécies e são considerados importantes centros de diversificação e endemismo de plantas do Cerrado (Castro e Martins 1999; Simon e Proença 2000), e coincidem com importantes unidades de conservação do Cerrado (Prevedello e Carvalho 2006). Assim, afirmamos que tanto a localização geográfica, quanto as condições ambientais, como relevo e altitude, também aumentam a diversidade beta entre regiões do bioma (Castro et al. 1998; Françoso et al. 2016).

O pequeno número de espécies consideradas indicadoras de Cerrado Rupestre e Cerrado Típico pode ter ocorrido porque, apesar desses ecossistemas compartilharem muitas espécies, estas apresentam expressivas diferenças nos tamanhos populacionais entre os ambientes (Santos et al. 2012; Mews et al. 2014). Entretanto, como já registrado na literatura (Pinto et al. 2009; Abadia et al. 2018a), foi demonstrado neste estudo que um elevado número de espécies é exclusivo do CR (91) ou CT (52). Algumas dessas espécies exclusivas do ambiente rupestre, chamadas de habitat especialistas desses ambientes (Pinto et al. 2009; Lenza et al. 2011), também foram registradas aqui como indicadoras e ocorreram exclusivamente em altas abundâncias no CR (e.g. *Schwartzia adamantium*, *Norantea guinanesis*, *Wunderlichia cruelsiana* e *W. mirabilis*). Isso torna os cerrados rupestres importantes reservatórios de espécies com alta especificidade de habitat no Cerrado, como as quatro espécies citadas acima. De modo inesperado, registramos uma espécie com ocorrência registrada em ambientes florestais de Cerrado (*Copaifera langsdorffi*), onde geralmente há maior disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (Abreu et al. 2012), foi registrada aqui como indicador do CR. Isso reforça a ideia apresentada anteriormente (ver também Abadia et al. 2018a) de que a maior

heterogeneidade dos substratos dentro dos sítios de Cerrado Rupestre garante a alta riqueza local de espécies nesse ambiente.

Concluimos que o Cerrado Rupestre e o Cerrado Típico possuem flora lenhosa distinta, mas não diferem quanto às propriedades e a heterogeneidade dos solos e do clima entre diferentes sítios. Evidenciamos que os padrões de diversidade beta da flora dos dois habitats são regidos pela alta contribuição dada pela substituição de espécies entre as comunidades (*turnover*), ao invés da perda de espécies entre sítios (*nestedness*). Sugerimos, que essa substituição ocorre de maneira gradual desde a região mais elevada e central até a região menos elevada e periférica do Cerrado na Transição com a Amazônia. Por isso, acreditamos que a elevada riqueza regional de espécies lenhosas das formações savânicas do Cerrado seja promovida por fatores históricos (e.g, centros de endemismo e influência de biomas adjacentes) e geográficos (e.g. topografia), aspectos dignos de investigações futuras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadia AC, Lenza E, Mews HA, et al (2018a) Savannas on two different substrates in Brazil have a similar species diversity , but distinct edaphic conditions and species composition. *Brazilian J Bot* 41:57–64. <https://doi.org/10.1007/s40415-017-0424-x>
- Abadia AC, Mews HA, Maracahipes-Santos L, et al (2018b) The intrinsic effects of environment and space on the composition of woody plant species vary between Brazilian savannas growing on distinct types of substrate. *Folia Geobot* 53:377–387
- Abreu MF, Pinto JRR, Maracahipes L, et al (2012) Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil. *Brazilian J Bot* 35:259–272. <https://doi.org/10.1590/S1806-99592012000300005>
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, et al (2014) Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift* 22:711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 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* 28:1–12. <https://doi.org/10.1111/jvs.12541>
- Amaral AG, Pereira FFO, Munhoz CBR (2006) Fitossociologia de uma área de cerrado rupestre na Fazenda Sucupira, Brasília-DF. *Cerne* 12:350–359
- Anderson MJ (2001) A new method for non parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol* 26:32–46. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>
- Anderson MJ (2006) Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions. *Biometrics* 62:245–253. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2005.00440.x>
- APG IV (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
- Baselga A (2010) Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Glob Ecol Biogeogr* 19:134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Baselga A, Leprieur F (2015) Comparing methods to separate components of beta diversity. *Methods Ecol Evol* 6:1069–1079. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12388>
- Baselga A, Orme D, Villeger S, et al (2018) betapart: partitioning beta diversity into turnover and nestedness components. R Packag version 150
- Benites VM, Schaefer CEGR, Simas FNB, Santos HG (2007) Soils associated with rock

- outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Rev Bras Botânica* 30:569–577. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042007000400003>
- Bridgewater S, Ratter JA, Ribeiro JF (2004) Biogeographic patterns , b -diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. *Biodivers Conserv* 13:2295–2318
- Bueno ML, Pennington RT, Dexter KG, et al (2016) Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. *Ecography (Cop)* 39:1–12. <https://doi.org/10.1111/ecog.01860>
- Castro AAJF, Martins FR (1999) Cerrados Do Brasil E Do Nordeste : Caracterização , Área De Ocupação E Considerações Sobre a Sua. *Pesqui em foco* 9:1–23
- Castro AAJF, Martins FR, Fernandes AG (1998) The woody flora of cerrado vegetation in the state of Piauí, northeastern Brazil. *Edinburgh J Bot* 55:455–472. <https://doi.org/10.1017/s0960428600003292>
- Cole MM (1986) The savannas of South America. In: Cole MM (ed) *The Savannas: biogeography and geobotany*. London: Academic Press, pp 56–58
- Cottenie K (2005) Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. *Ecol Lett* 8:1175–1182. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- De Caceres M, Legendre P (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, URL <http://sites.google.com/site/miqueldecaceres/>
- Dray S, Blanchet G, Borcard D, Guenard G, Jombart T, Larocque G, Legendre P, Madi N, Wagner HH (2016). *adespatial: Multivariate Multiscale Spatial Analysis*. R package version 0.0-7, <http://CRAN.R-project.org/package=adespatial>.
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67:345–366
- Eiten G (1972) The Cerrado Vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38: 201-341
- Felfili J, Carvalho F, Haidar R (2005) Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal. Universidade de Brasília, Brasília
- Felfili JM, Silva Jr. MC (1993) A comparative study of Cerrado (Sensu stricto) vegetation central Brazil. *J Trop Ecol* 9:277–289
- Ferreira JN, Bustamante MMC, 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
- Flora do Brasil 2020 em construção. In: *Jard. botânico do Rio Janeiro*.

- <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Accessed 20 January 2020
- Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol*. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fitzpatrick MC, Sanders NJ, Normand S, et al (2013) Environmental and historical imprints on beta diversity : insights from variation in rates of species turnover along gradients. *Proc B* 280:1–8
- Françoso RD, Dexter KG, Machado RB, et al (2019) Delimiting floristic biogeographic districts in the Cerrado and assessing their conservation status. *Biodivers Conserv*. <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>
- Gaston KJ (2000) Global patterns in biodiversity. *Nature* 405:220–7. <https://doi.org/10.1038/35012228>
- Gomes L, Lenza E, Maracahipes L, et al (2011) Comparações florísticas e estruturais entre duas comunidades lenhosas de cerrado típico e cerrado rupestre, Mato Grosso, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 25:865–875. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400013>
- Kier G, Mutke J, Dinerstein E, et al (2005) Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *J Biogeogr* 32:1107–1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01272.x>
- Lambrinos JG, Kleier CC, Rundel PW (2006) Plant community variation across a puna landscape in the Chilean Andes. *Rev Chil Hist Nat* 79:233–243. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000200009>
- Legendre P (2014) Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. *Glob Ecol Biogeogr* 23:1324–1334. <https://doi.org/10.1111/geb.12207>
- Legendre P, De Cáceres M (2013) Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecol Lett* 16:951–963. <https://doi.org/10.1111/ele.12141>
- Legendre P, Gallagher ED (2001) Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129:271–280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Lehmann CER, Anderson TM, Sankaran M, et al (2014) Savanna Vegetation-Fire-Climate Relationships Differ Among Continents. *Science* (80-) 343:548–552.

- <https://doi.org/10.1126/science.1247355>
- Leibold MA, Holyoak M, Mouquet N, et al (2004) The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecol Lett* 7:601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x>
- Lemos HL, Pinto JRR, Mews HA, Lenza E (2013) Structure and floristic relationships between Cerrado sensu stricto sites on two types of substrate in northern Cerrado, Brazil. *Biota Neotrop* 13:0–12. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000400013>
- Lenza E, Pinto JRR, Pinto ADS, et al (2011) Comparação da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de cerrado rupestre na Chapada dos Veadeiros, Goiás, e áreas de cerrado sentido restrito do Bioma Cerrado. *Rev Bras Botânica* 34:247–259. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300002>
- Méio BB, Freitas CV, 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>
- Mews HA, Pinto JRR, Eisenlohr PV, Lenza E (2016) No evidence of intrinsic spatial processes driving Neotropical savanna vegetation on different substrates. *Biotropica* 48:433–442
- Mews HA, Pinto JRR, Eisenlohr PV, Lenza E (2014) Does size matter? Conservation implications of differing woody population sizes with equivalent occurrence and diversity of species for threatened savanna habitats. *Biodivers Conserv* 23:1119–1131. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0651-4>
- Murphy BP, Andersen AN, Parr CL, Murphy BP (2016) The underestimated biodiversity of tropical grassy biomes. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 371:1–12. <https://doi.org/doi.org/10.1098/rstb.2015.0319>
- Neves DM, Dexter KG, Pennington RT, et al (2018) Lack of floristic identity in campos rupestres—A hyperdiverse mosaic of rocky montane savannas in South America. *Flora Morphol Distrib Funct Ecol Plants* 238:24–31. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.03.011>
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, et al (2015) vegan: Community Ecology Package. In: R Packag. version 2.3-1. <http://cran.r-project.org/package=vegan>
- Oliveira-Filho AT, Ratter JA (2002) Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Biome. In: Oliveira PS, Marquis RJ (eds) *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, pp 91–120

- Oliveira-Filho AT, Shepherd GJ, Martins FR, et al. (1989) Environment factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of a Cerrado in Central Brazil. *J. Trop. Ecol* 5:413–431
- Pinto JRR, Lenza E, Pinto ADS (2009) Composição florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em um cerrado rupestre, Cocalzinho de Goiás, Goiás. *Rev Bras Botânica* 32:23–32. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000100002>
- Prevedello JA, Carvalho CJB (2006) Conservação do Cerrado brasileiro: Artigos Técnico-Científicos. *Nat e Conserv* 4:39–57
- Quinn GP, Keough MJ (2002) *Experimental design and Data Analysis for Biologists*. United States of America by Cambridge University Press, New York
- R Core Team (2018) *R: A language and environment for statistical computing*
- 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>
- Reatto A, Correia JR, Spera ST (2008) Solos do Bioma do Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro JF. (eds) *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa-CPAC, Planaltina, pp 107–149
- Ribeiro JF, Walter BMT (2008) As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro JF. (eds) *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa-CPAC, Planaltina, pp 151–212
- Ruggiero PGC, Batalha MA, Pivello VR, Meirelles ST (2002) Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecol* 160:1–16. <https://doi.org/10.1023/A:1015819219386>
- Sankaran M, Hanan NP, Scholes RJ, et al (2005) Determinants of woody cover in African savannas. *Nature* 438:846–849. <https://doi.org/10.1038/nature04070>
- Sano EE, Rodrigues AA, Martins ES, et al (2019) Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *J Environ Manage* 232:818–828. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>
- Santos TRR, Pinto JRR, Lenza E (2012) Floristic relationships of the woody component in rocky outcrops savanna areas in Central Brazil. *Flora* 207:541–550. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.06.015>
- Silva FAM, Assad ED, Evangelista BA (2008) Caracterização Climática do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro JF. (eds) *Cerrado: Ecologia e*

- Flora. Embrapa-CPAC, Planaltina, pp. 69–88
- Silva JF, Fariñas MR, Felfili JM, Klink CA (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *J Biogeogr* 33:536–548. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01422.x>
- Simon MF, Proença C (2000) Phytogeographic patterns of Mimosa (Mimosoideae, Leguminosae) in the Cerrado biome of Brazil: An indicator genus of high-altitude centers of endemism? *Biol Conserv* 96:279–296. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00085-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00085-9)
- Sousa-Baena MS, Garcia LC, Peterson AT (2014) Completeness of digital accessible knowledge of the plants of Brazil and priorities for survey and inventory. *Divers Distrib* 20:369–381. <https://doi.org/10.1111/ddi.12136>
- Spehn EM, Körner C (2005) A Global Assessment of Mountain Biodiversity and its Function. In: Huber; UM, Bugmann; HKM, Reasoner MA (eds) *Global Change and Mountain Regions*. Springer Netherlands, Amsterdam, pp 393–400
- 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>

6. CONCLUSÕES GERAIS

Neste estudo, mostramos que ambientes de savanas neotropicais sobre substratos distintos apresentam diferenças quanto à resposta das plantas lenhosas aos preditores locais e regionais, o que evidencia que os táxons possuem diferentes limites de tolerância aos fatores abióticos, concordando com a teoria de nicho ecológico de Hutchinson (1957). Contudo, as diferenças na ocorrência e na abundância das plantas lenhosas ocorrem, principalmente, em resposta às variáveis edáficas e topográficas, enquanto o clima exerce pouca influência sobre a vegetação lenhosa das savanas. Desse modo, nós mostramos que a distribuição das comunidades de plantas lenhosas em ambientes rupestres e em solo profundo é multifatorial e depende da escala analisada, o que torna ainda mais complexa a definição dos preditores mais importantes na distribuição da vegetação lenhosa das savanas, uma vez que estes podem diferir mesmo em ambientes adjacentes na paisagem.

Nossos resultados também evidenciam que ambientes savânicos sobre substratos marcadamente distintos possuem composição florística distintas, mas não diferem quanto às propriedades edáficas e a heterogeneidade dos solos entre diferentes sítios. Mostramos que os padrões de diversidade beta para a flora lenhosa da formação savânica do Cerrado são regidos pela alta contribuição dada pela substituição de espécies entre as comunidades (*turnover*), ao invés da perda de espécies. Sendo assim, possivelmente a elevada diversidade beta é reflexo da elevada variação florística das plantas lenhosas, que apresentam flora singular entre os sítios de amostragem. Por isso, acreditamos que esses locais apresentam flora particular em função de suas características geográficas e topográficas.

7. APÊNDICES

Apêndice 1. Descrição das variáveis edáficas, climáticas e topográficas usadas nas análises numéricas. Variáveis em negrito foram mantidas após seleção de variáveis ($VIF < 3$).

Variáveis	Descrição e unidade de medida
Precipitação	Precipitação anual (mm)
Altitude	Altitude (m)
Temperatura anual	Temperatura média anual (°C)
Temperatura do trimestre mais quente	Temperatura média do trimestre mais quente (°C)
Temperatura do trimestre mais frio	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)
Sazonalidade da temperatura	Sazonalidade da temperatura (desvio-padrão*100) (°C)
MO	Matéria orgânica no solo (%)
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
P	Fósforo no solo (MEHLICH (mg/dm ³) (ppm))
Argila	Argila no solo (g/Kg)
Silte	Silte no solo (g/Kg)
Areia	Areia no solo (g/Kg)
Ca	Cálcio no solo (cmolc/dm ³) (mE/100 ml)
K	Potássio no solo (cmolc/dm ³) (mE/100 ml)
Na	Sódio no solo (mg/dm ³) (ppm))
Mg	Magnésio no solo (cmolc/dm ³) (mE/100 ml)
S	Enxofre no solo (mg/dm ³) (ppm))
pH	pH do solo em Cálcio (CaCl ₂)

Apêndice 2. Variáveis ambientais pré-selecionadas ($VIF \leq 3$) e utilizadas nas análises do TITAN para avaliar os limiares ecológicos e pontos de mudança de distribuição das plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) amostrados na Cerrado. * $p < 0,05$ (teste de Mann-Whitney entre os ambientes CT e CR).

Variáveis regionais	Ambiente	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
Altitude (m)	CT	681,75	339,57	0,50
	CR	731,19	291,28	0,40
Sazonalidade da temperatura (°C)	CT	12,03	2,92	0,24
	CR	11,88	2,69	0,23
Precipitação anual (mm)	CT	1597,19	50,03	0,03
	CR	1602,19	49,29	0,03
Variáveis locais				
Argila (g/Kg)	CT	15,42	9,46	0,61
	CR	12,44	6,56	0,53
Cálcio (cmolc/dm ³) (mE/100 ml)	CT	0,30	0,18	0,59
	CR	0,33	0,19	0,57
Capacidade de troca catiônica*	CT	6,45	2,42	0,38
	CR	8,01	2,29	0,29
Potássio (cmolc/ dm ³) (mE/100 ml)	CT	0,13	0,06	0,50
	CR	0,14	0,07	0,45
Magnésio (cmolc/ dm ³) (mE/100 ml)	CT	0,26	0,59	2,30
	CR	0,15	0,09	0,60
Matéria orgânica (%)*	CT	27,61	13,35	0,48
	CR	33,00	15,32	0,46
Sódio (mg/-dm ³) (ppm))	CT	4,43	3,41	0,77
	CR	4,55	3,49	0,77
Fósforo (MEHLICH (mg/dm ³) (ppm))*	CT	3,42	2,07	0,61
	CR	4,28	2,15	0,50
Enxofre (mg/ dm ³) (ppm))	CT	6,47	3,41	0,53
	CR	6,88	3,44	0,49

Apêndice 3. Espécies lenhosas (com suas respectivas siglas, famílias e abundâncias) registradas nos ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR,) amostrados na Cerrado. As espécies estão dispostas em ordem alfabética.

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	Acracu	Arecaceae	0	2
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	Aegver	Lamiaceae	11	4
<i>Agarista chapadensis</i> (Kin.-Gouv.) Judd	Agacha	Ericaceae	0	5
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook. f.	Agobra	Opiliaceae	26	41
<i>Alchornea glandulosa</i> Poit. & Baill.	Alcgl	Euphorbiaceae	1	0
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	Alctri	Euphorbiaceae	0	2
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.	Aliedu	Rubiaceae	7	7
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	Amagui	Rubiaceae	3	0
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anaocc	Anacardiaceae	210	361
<i>Anadenanthera</i> sp.	Anasp	Fabaceae	50	0
<i>Andira cujabensis</i> Benth.	Andcuj	Fabaceae	78	24
<i>Andira vermifuga</i> Mart. ex Benth.	Andver	Fabaceae	140	91
<i>Aniba heringeri</i> Vattimo-Gil	Aniher	Lauraceae	0	1
<i>Annona coriacea</i> Mart.	Anncor	Annonaceae	17	15
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Annra	Annonaceae	142	4
<i>Antonia ovata</i> Pohl	Antova	Loganiaceae	15	18
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll. Arg.	Aspcyl	Apocynaceae	17	0
<i>Aspidosperma discolor</i> A. DC.	Aspdis	Apocynaceae	0	1
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Aspmac	Apocynaceae	115	266
<i>Aspidosperma multiflorum</i> A. DC.	Aspmul	Apocynaceae	15	153
<i>Aspidosperma nobile</i> Müll. Arg.	Aspnob	Apocynaceae	4	3
<i>Aspidosperma ramiflorum</i> Müll. Arg.	Aspram	Apocynaceae	0	1
<i>Aspidosperma</i> sp.1	Aspsp1	Apocynaceae	1	0

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Aspidosperma</i> sp.2	Aspsp2	Apocynaceae	0	7
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A. DC.	Aspsub	Apocynaceae	1	4
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Asptom	Apocynaceae	274	260
Asteraceae NI1	AstNI1	Asteraceae	0	1
Asteraceae NI2	AstNI2	Asteraceae	0	2
Asteraceae NI3	AstNI4	Asteraceae	1	0
Asteraceae NI4	AstNI3	Asteraceae	0	3
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Astfra	Anacardiaceae	43	34
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Bacdra	Asteraceae	1	0
<i>Banisteriopsis latifolia</i> (A. Juss.) B. Gates	Banlat	Malpighiaceae	15	57
<i>Banisteriopsis</i> sp.	Bansp	Malpighiaceae	0	1
<i>Bauhinia platyphylla</i> Benth.	Baupla	Fabaceae	45	0
<i>Bauhinia pulchella</i> Benth.	Baupul	Fabaceae	0	60
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	Blesal	Myrtaceae	17	34
<i>Bonyunia antoniifolia</i> Progel	Bonant	Loganiaceae	0	5
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Bowvir	Fabaceae	250	109
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Brogau	Moraceae	64	7
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	Buctom	Combretaceae	103	12
<i>Butia</i> sp.	Butsp	Arecaceae	3	4
<i>Byrsonima basiloba</i> A. Juss.	Byrbas	Malpighiaceae	9	3
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	Byrcoc	Malpighiaceae	555	198
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Byrcra	Malpighiaceae	2	1
<i>Byrsonima intermedia</i> A. Juss.	Byrint	Malpighiaceae	2	13
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	Byrpac	Malpighiaceae	718	389
<i>Byrsonima</i> sp.1	Byrsp1	Malpighiaceae	1	12
<i>Byrsonima</i> sp.2	Byrsp2	Malpighiaceae	0	43

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Byrver	Malpighiaceae	138	12
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	Calfas	Vochysiaceae	7	23
<i>Callisthene major</i> Mart.	Calmaj	Vochysiaceae	91	5
<i>Callisthene minor</i> Mart.	Calmin	Vochysiaceae	11	39
<i>Callisthene molissima</i> Warm.	Calmol	Vochysiaceae	537	58
<i>Callisthene</i> sp.	Calsp	Vochysiaceae	0	85
<i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schldtl.	Carcal	Annonaceae	0	2
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Carbra	Caryocaraceae	153	159
<i>Caryocar coriaceum</i> Wittm.	Carcor	Caryocaraceae	50	10
<i>Caryocar cuneatum</i> Wittm.	Carcun	Caryocaraceae	0	36
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Carvil	Caryocaraceae	4	0
<i>Casearia grandiflora</i> Cambess.	Casgra	Salicaceae	7	0
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Cassyl	Salicaceae	49	16
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Cecpac	Urticaceae	1	8
<i>Cecropia</i> sp.	Cecsp	Urticaceae	0	1
<i>Cenostigma tocanthinum</i> Ducke	Centoc	Fabaceae	3	0
<i>Chamaecrista orbiculata</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Chaorb	Fabaceae	332	65
<i>Chamaecrista pachyclada</i> (Harms) H.S. Irwin & Barneby	Chapac	Fabaceae	186	198
<i>Chamaecrista</i> sp.1	Chasp1	Fabaceae	0	61
<i>Chamaecrista</i> sp.2	Chasp2	Fabaceae	0	2
<i>Chaunochiton kappleri</i> (Sagot ex Engl.) Ducke	Chakap	Olacaceae	0	8
<i>Chomelia ribesoides</i> Benth. ex A. Gray	Chorib	Rubiaceae	10	57
<i>Clusia weddelliana</i> Planch. & Triana	Cluwed	Clusiaceae	0	5
<i>Coccoloba mollis</i> Casar.	Cocmol	Polygonaceae	1	0
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Consub	Connaraceae	226	174
<i>Copaifera coriacea</i> Mart.	Copcor	Fabaceae	10	1

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Coplan	Fabaceae	1	30
<i>Copaifera oblongifolia</i> Mart. ex Hayne	Copobl	Fabaceae	0	35
<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	Corcon	Rubiaceae	0	2
<i>Cordia elliptica</i> (Cham.) Kuntze	Corell	Rubiaceae	9	28
<i>Cordia sessilis</i> (Vell.) Kuntze	Corses	Rubiaceae	5	34
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth. ex Hook. f.	Cougra	Chrysobalanaceae	192	76
<i>Curatella americana</i> L.	Curame	Dilleniaceae	336	89
<i>Cybianthus detergens</i> Mart.	Cybdet	Primulaceae	1	0
<i>Cybianthus gardneri</i> (A. DC.) G. Agostini	Cybgar	Primulaceae	9	1
<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.	Cybant	Bignoniaceae	4	3
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Dalmis	Fabaceae	84	168
<i>Davilla elliptica</i> A. St.-Hil.	Davell	Dilleniaceae	2004	778
<i>Davilla grandifolia</i> Moric. ex Eichler	Davgra	Dilleniaceae	2	0
<i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul.	Dimgar	Fabaceae	51	13
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Dimmol	Fabaceae	109	35
<i>Diospyros coccolobifolia</i> Mart. ex Miq.	Diococ	Ebenaceae	3	2
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	Diohis	Ebenaceae	228	41
<i>Diospyros sericea</i> A. DC.	Dioser	Ebenaceae	2	3
<i>Diospyros</i> sp.	Diosp	Ebenaceae	0	1
<i>Diplopterys pubipetala</i> (A. Juss.) W.R. Anderson & C. Davis	Dippub	Malpighiaceae	3	4
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Dipala	Fabaceae	19	46
<i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul.	Dipaur	Fabaceae	1	0
<i>Duroia duckei</i> Huber	Durduc	Rubiaceae	5	0
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	Emmnit	Metteniusaceae	121	42
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F. Macbr.	Endpan	Lauraceae	0	2
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F. Macbr.	Entgum	Fabaceae	15	1

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.	Ereglo	Asteraceae	60	30
<i>Eremanthus goyazensis</i> (Gardner) Sch. Bip.	Eregoy	Asteraceae	6	11
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K. Schum.) A. Robyns	Erigra	Malvaceae	152	137
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	Eripub	Malvaceae	17	17
<i>Eriotheca</i> sp.	Erisp	Malvaceae	0	6
<i>Erythroxylum anguifugum</i> Mart.	Eryang	Erythroxylaceae	0	1
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	Erydap	Erythroxylaceae	8	7
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	Erydec	Erythroxylaceae	92	21
<i>Erythroxylum engleri</i> O.E. Schulz	Eryeng	Erythroxylaceae	25	5
<i>Erythroxylum</i> sp.1	Erysp1	Erythroxylaceae	0	3
<i>Erythroxylum</i> sp.2	Erysp2	Erythroxylaceae	0	1
<i>Erythroxylum</i> sp.3	Erysp3	Erythroxylaceae	0	1
<i>Erythroxylum</i> sp.4	Erysp4	Erythroxylaceae	1	0
<i>Erythroxylum</i> sp.5	Erysp5	Erythroxylaceae	4	0
<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil.	Erysub	Erythroxylaceae	463	309
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	Erytor	Erythroxylaceae	205	31
<i>Eschweilera nana</i> (O. Berg) Miers	Escnan	Lecythidaceae	55	0
<i>Eugenia aurata</i> O. Berg	Eugaur	Myrtaceae	90	161
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	Eugdys	Myrtaceae	49	0
<i>Eugenia gemmiflora</i> O. Berg	Euggem	Myrtaceae	59	21
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Euginv	Myrtaceae	0	1
<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.	Eugpun	Myrtaceae	40	25
<i>Eugenia</i> sp.1	Eugsp1	Myrtaceae	1	28
<i>Eugenia</i> sp.2	Eugsp2	Myrtaceae	19	0
<i>Eugenia suberosa</i> Cambess.	Eugsub	Myrtaceae	2	0

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Eugenia ternatifolia</i> Cambess.	Eugter	Myrtaceae	3	0
<i>Ferdinandusa elliptica</i> (Pohl) Pohl	Ferell	Rubiaceae	32	47
<i>Ferdinandusa</i> sp.	Fersp	Rubiaceae	0	9
<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	Ficgua	Moraceae	0	2
<i>Ficus</i> sp.	Ficsp	Moraceae	0	1
<i>Fridericia cinnamomea</i> (DC.) L.G. Lohmann	Fricin	Bignoniaceae	0	23
<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. ex J.A. Schmidt) Lundell	Guagra	Nyctaginaceae	95	200
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	Guanox	Nyctaginaceae	52	42
<i>Gutteria sellowiana</i> Schltld.	Guasel	Annonaceae	0	2
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltld.	Guevib	Rubiaceae	1	0
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Hanspe	Apocynaceae	178	132
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Hanoch	Bignoniaceae	111	42
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.O. Grose	Hanser	Bignoniaceae	5	20
<i>Heisteria ovata</i> Benth.	Heiova	Olacaceae	9	22
<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A. Juss.	Hetbyr	Malpighiaceae	142	305
<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	Himart	Apocynaceae	0	4
<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll. Arg.) Woodson	Himobo	Apocynaceae	44	38
<i>Hirtella ciliata</i> Mart. & Zucc.	Hircil	Chrysobalanaceae	24	4
<i>Hirtella glandulosa</i> Spreng.	Hirgla	Chrysobalanaceae	3	18
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook. f.) Prance	Hirgra	Chrysobalanaceae	0	1
<i>Humiria balsamifera</i> (Aubl.) J.St.-Hil.	Humbal	Humiriaceae	0	2
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Hymcou	Fabaceae	0	1
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Hymsti	Fabaceae	270	375
<i>Hyptidendron canum</i> (Pohl ex Benth.) Harley	Hypcan	Lamiaceae	3	0
<i>Hyptis pachyphylla</i> Epling	Hyppac	Lamiaceae	0	72
<i>Ilex congesta</i> H.W. Li	Ilecon	Aquifoliaceae	0	7

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Ilex conocarpa</i> Reissek	Ilecoc	Aquifoliaceae	0	3
<i>Ilex</i> sp.	Ilesp	Aquifoliaceae	0	2
<i>Jacaranda brasiliana</i> (Lam.) Pers.	Jacbra	Bignoniaceae	0	13
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Kiecor	Calophyllaceae	551	382
<i>Kielmeyera lathrophyton</i> Saddi	Kielat	Calophyllaceae	82	14
<i>Kielmeyera rubriflora</i> Cambess.	Kierub	Calophyllaceae	229	232
<i>Kielmeyera</i> sp. Mart. & Zucc.	Kiesp	Calophyllaceae	0	4
<i>Kielmeyera speciosa</i> A. St.-Hil.	Kiespe	Calophyllaceae	118	136
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	Lafpac	Lythraceae	269	259
Lauraceae NI	LauNI	Lauraceae	2	0
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	Lepdas	Fabaceae	137	101
<i>Leptolobium</i> sp.	Lepsp	Fabaceae	22	3
<i>Licania blackii</i> Prance	Licbla	Chrysobalanaceae	0	1
<i>Licania humilis</i> Cham. & Schltdl.	Lichum	Chrysobalanaceae	68	4
<i>Luehea candicans</i> Mart.	Luecan	Malvaceae	0	1
<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	Luegra	Malvaceae	3	0
<i>Luetzelburgia praecox</i> (Harms ex Kuntze) Harms	Luepra	Fabaceae	5	23
<i>Macairea radula</i> (Bonpl.) DC.	Macrad	Melastomataceae	0	47
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Macacu	Fabaceae	258	11
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	Macopa	Fabaceae	45	9
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	Magpub	Sapindaceae	58	115
<i>Manihot</i> sp.	Mansp	Euphorbiaceae	3	0
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	Mapgui	Euphorbiaceae	1	18
<i>Martiodendron mediterraneum</i> (Mart. ex Benth.) R.C. Koeppen	Marmed	Fabaceae	5	0
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Matela	Sapindaceae	3	1
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	Matgui	Sapindaceae	13	12

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Mezilaurus crassiramea</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	Mezcra	Lauraceae	128	33
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Micalb	Melastomataceae	452	44
<i>Miconia burchellii</i> Triana	Micbur	Melastomataceae	7	52
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	Micfer	Melastomataceae	114	323
<i>Miconia irwinii</i> Wurdack	Micirw	Melastomataceae	0	2
<i>Miconia leucocarpa</i> DC.	Micleu	Melastomataceae	22	2
<i>Miconia pepericarpa</i> DC.	Micpep	Melastomataceae	0	1
<i>Miconia rubiginosa</i> (Bonpl.) DC.	Micrub	Melastomataceae	9	6
<i>Miconia</i> sp.1	Micsp1	Melastomataceae	3	0
<i>Miconia</i> sp.2	Micsp2	Melastomataceae	0	1
<i>Miconia stenostachya</i> DC.	Micste	Melastomataceae	1	0
<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre	Micven	Sapotaceae	0	1
<i>Mimosa clausenii</i> Benth.	Mimcla	Fabaceae	34	25
<i>Mimosa decorticans</i> Barneby	Mimdec	Fabaceae	30	15
<i>Mimosa laticifera</i> Rizzini & A. Mattos	Mimlat	Fabaceae	38	5
<i>Mimosa manidea</i> Barneby	Mimman	Fabaceae	0	26
<i>Mimosa setosissima</i> Taub.	Mimset	Fabaceae	52	77
<i>Mimosa</i> sp.	Mimsp	Fabaceae	1	0
<i>Mimosa ulei</i> Taub.	Mimule	Fabaceae	0	2
<i>Mouriri elliptica</i> Mart.	Mouell	Melastomataceae	295	20
<i>Mouriri guianensis</i> Aubl.	Mougui	Melastomataceae	3	0
<i>Mouriri pusa</i> Gardner ex Hook.	Moupus	Melastomataceae	56	61
<i>Myrcia bella</i> Cambess.	Myrbel	Myrtaceae	63	20
<i>Myrcia camapuanensis</i> N. Silveira	Myrcam	Myrtaceae	69	4
<i>Myrcia cordifolia</i> O. Berg	Myrcor	Myrtaceae	0	4
<i>Myrcia fenzliana</i> O. Berg	Myrfen	Myrtaceae	0	4

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	Myrgui	Myrtaceae	13	0
<i>Myrcia lanuginosa</i> O. Berg	Myrlan	Myrtaceae	342	25
<i>Myrcia linguaeformis</i> (O. Berg) N. Silveira	Myrlin	Myrtaceae	28	1
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	Myrmul	Myrtaceae	80	150
<i>Myrcia rufipes</i> DC.	Myrrim	Myrtaceae	85	0
<i>Myrcia</i> sp.	Myrsp	Myrtaceae	245	30
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Myrspl	Myrtaceae	177	133
<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	Myrtom	Myrtaceae	5	9
<i>Myrcia tortuosa</i> (O. Berg) N. Silveira	Myrtor	Myrtaceae	0	8
<i>Myrcia uberavensis</i> O. Berg	Myrube	Myrtaceae	15	13
<i>Myrcia variabilis</i> DC.	Myrvar	Myrtaceae	19	18
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Mysgui	Primulaceae	156	38
Myrtaceae NI2	MyrNI1	Myrtaceae	1	13
Myrtaceae NI1	MyrNI2	Myrtaceae	1	0
Nao identificada	Naoide		0	47
<i>Neea theifera</i> Oerst.	Neethe	Nyctaginaceae	39	65
<i>Norantea guianensis</i> Aubl.	Norgui	Marcgraviaceae	0	30
<i>Ocotea pomaderroides</i> (Meisn.) Mez	Ocopom	Lauraceae	0	25
Olacaceae NI	OlaNI	Olacaceae	1	0
<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	Ourcas	Ochnaceae	0	1
<i>Ouratea glaucescens</i> Engl.	Ourgla	Ochnaceae	0	6
<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Baill.	Ourhex	Ochnaceae	730	302
<i>Ouratea riedeliana</i> Engl.	Ourrie	Ochnaceae	0	2
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart. ex Engl.) Engl.	Ourspe	Ochnaceae	114	69
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Palrig	Rubiaceae	178	124
<i>Peltogyne confertiflora</i> (Mart. ex Hayne) Benth.	Pelcon	Fabaceae	19	168

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	Piprot	Asteraceae	115	29
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Plaret	Fabaceae	72	189
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Plaele	Fabaceae	0	5
<i>Plenckia populnea</i> Reissek	Plepop	Celastraceae	74	163
<i>Pouteria gardneri</i> (Mart. & Miq.) Baehni	Pougar	Sapotaceae	0	6
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Pouram	Sapotaceae	497	192
<i>Pouteria</i> sp.	Pousp	Sapotaceae	2	0
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	Poutor	Sapotaceae	22	3
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Prohep	Burseraceae	2	5
<i>Protium unifoliolatum</i> Engl.	Prouni	Burseraceae	2	0
<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart.) A. Robyns	Pselon	Malvaceae	34	134
<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart.) Robyns	Psetom	Malvaceae	11	6
<i>Psidium guineense</i> Sw.	Psigui	Myrtaceae	0	34
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.	Psilar	Myrtaceae	65	20
<i>Psidium myrsinites</i> Mart. ex DC.	Psimyr	Myrtaceae	229	517
<i>Psidium salutare</i> (Kunth) O. Berg	Psisal	Myrtaceae	8	0
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	Pteema	Fabaceae	17	17
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	Ptepub	Fabaceae	229	341
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Quagra	Vochysiaceae	894	140
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Quamul	Vochysiaceae	239	251
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Quapar	Vochysiaceae	2227	1656
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Roumon	Proteaceae	346	83
<i>Rourea induta</i> Planch.	Rouind	Connaraceae	123	78
Rubiaceae NI1	RubNI1	Rubiaceae	0	2
Rubiaceae NI2	RubNI2	Rubiaceae	0	7
Rubiaceae NI3	RubNI3	Rubiaceae	2	0

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth.	Rudvib	Rubiaceae	2	2
<i>Salacia crassifolia</i> (Mart. ex Schult.) G. Don	Salcra	Celastraceae	159	149
<i>Salacia elliptica</i> (Mart. ex Schult.) G. Don	Salell	Celastraceae	0	56
<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hil.	Salcon	Vochysiaceae	204	280
<i>Sapium argutum</i> (Müll. Arg.) Huber	Saparg	Euphorbiaceae	0	9
Sapotaceae NI	SapNI	Sapotaceae	0	1
<i>Schefflera burchellii</i> (Seem.) Frodin & Fiaschi	Schbur	Araliaceae	3	1
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin	Schmac	Araliaceae	17	73
<i>Schefflera vinosa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin & Fiaschi	Schvin	Araliaceae	8	4
<i>Schwartzia adamantium</i> (Cambess.) Bedell ex Gir.-Cañas	Schada	Marcgraviaceae	0	208
<i>Senna velutina</i> (Vogel) H.S. Irwin & Barneby	Senvel	Fabaceae	2	36
<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	Simver	Simaroubaceae	20	32
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Sipgui	Siparunaceae	14	4
<i>Siphoneugena densiflora</i> O. Berg	Sipden	Myrtaceae	0	19
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Sollyc	Solanaceae	3	1
<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.-Hil.	Strpse	Loganiaceae	72	9
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Strads	Fabaceae	101	0
<i>Stryphnodendron coriaceum</i> Benth.	Strcor	Fabaceae	8	0
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> Mart.	Strpol	Fabaceae	56	21
<i>Stryphnodendron rotundifolium</i> Mart.	Strrot	Fabaceae	51	2
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Styfer	Styracaceae	199	93
<i>Syagrus comosa</i> (Mart.) Mart.	Syacom	Arecaceae	543	94
<i>Syagrus flexuosa</i> (Mart.) Becc.	Syafle	Arecaceae	183	410
<i>Symplocos nitens</i> (Pohl) Benth.	Symnit	Symplocaceae	0	2
<i>Symplocos rhamnifolia</i> A. DC.	Symrha	Symplocaceae	3	0
<i>Symplocos</i> sp.	Symsp	Symplocaceae	1	0

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	Tabaur	Bignoniaceae	303	105
<i>Tabebuia</i> sp.	Tabsp	Bignoniaceae	0	5
<i>Tachigali aurea</i> Tul.	Tacaur	Fabaceae	192	108
<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	Tacsub	Fabaceae	3	48
<i>Tachigali vulgaris</i> L.F. Gomes da Silva & H.C. Lima	Tacvul	Fabaceae	394	441
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Tapgui	Anacardiaceae	2	3
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Terarg	Combretaceae	57	8
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	Terfag	Combretaceae	26	6
<i>Ternstroemia carnosa</i> Cambess.	Tercar	Pentaphylacaceae	0	2
<i>Tetrapteryx microphylla</i> Nied.	Tetmic	Malpighiaceae	0	1
<i>Tibouchina candolleana</i> Cogn.	Tibcan	Melastomataceae	4	0
<i>Tibouchina papyrus</i> (Pohl) Toledo	Tibpap	Melastomataceae	0	47
<i>Tibouchina</i> sp.1	Tibsp1	Melastomataceae	0	5
<i>Tibouchina</i> sp.2	Tibsp2	Melastomataceae	0	22
<i>Tibouchina villosissima</i> Cogn.	Tibvil	Melastomataceae	0	1
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	Tocfor	Rubiaceae	70	74
<i>Unonopsis</i> sp.	Unosp	Annonaceae	1	0
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Vatmac	Fabaceae	189	415
<i>Vellozia albiflora</i> Pohl	Velalb	Velloziaceae	0	1
<i>Vellozia squamata</i> Pohl	Velsqu	Velloziaceae	309	472
<i>Vellozia tubiflora</i> (A. Rich.) Kunth	Veltub	Velloziaceae	0	120
<i>Vellozia variabilis</i> Mart. ex Schult. f.	Velvar	Velloziaceae	0	817
<i>Vernonia</i> sp.	Versp	Asteraceae	52	0
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Virseb	Myristicaceae	0	33
<i>Vismia</i> sp.	Vissp	Hypericaceae	0	1
<i>Vitex polygama</i> Cham.	Vitpol	Lamiaceae	0	1

Espécies	Siglas	Famílias	Cerrado Típico (CT)	Cerrado Rupestre (CR)
<i>Vochysia cinnamomea</i> Pohl	Voccin	Vochysiaceae	71	0
<i>Vochysia elliptica</i> Mart.	Vocell	Vochysiaceae	46	80
<i>Vochysia gardneri</i> Warm.	Vocgar	Vochysiaceae	82	405
<i>Vochysia rufa</i> Mart.	Vocruf	Vochysiaceae	278	118
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Vocthy	Vochysiaceae	39	46
<i>Wunderlichia cruelsiana</i> Taub.	Wuncru	Asteraceae	0	176
<i>Wunderlichia mirabilis</i> Riedel ex Baker	Wunmir	Asteraceae	0	113
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Xylaro	Annonaceae	122	132
<i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng.	Xylbra	Annonaceae	8	0
<i>Xylopia sericea</i> A. St.-Hil.	Xylser	Annonaceae	22	0
<i>Zeyheria montana</i> Mart.	Zeymon	Bignoniaceae	2	0

Apêndice 4. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de altitude. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Anncor	729	5	62,50	0,020	3,14	502	857	0,988	0,670
Astfra	814	6	60,00	0,036	2,38	502	857	0,938	0,566
Buctom	770	6	66,67	0,012	3,11	502	857	0,984	0,764
Curame*	814	10	78,04	0,020	2,70	502	857	0,960	0,750
Emmnit	502	8	92,72	0,004	4,43	502	814	0,998	0,978
Erigrá	814	11	98,91	0,008	3,58	633	857	0,960	0,886
Eugaur*	729	6	60,42	0,016	2,84	502	857	0,934	0,616
Eugpun	729	5	62,50	0,028	3,14	502	857	0,988	0,748
Kierub*	814	6	60,00	0,048	2,61	502	857	0,952	0,588
Lichum	502	5	56,28	0,020	2,65	502	857	0,974	0,624
Macacu	729	8	87,16	0,008	3,37	502	857	0,966	0,920
Magpub	814	7	70,00	0,020	2,98	502	857	0,916	0,698
Mezcra*	502	5	65,40	0,036	3,01	502	814	0,984	0,662
Mouell	770	6	66,67	0,020	2,46	502	857	0,952	0,738
Myrspl	729	9	79,10	0,020	2,50	502	857	0,976	0,806
Rouind	729	13	74,80	0,044	2,00	502	857	0,884	0,542
Salcon*	502	12	82,60	0,004	3,68	502	857	1,000	0,994
Strrot	857	8	72,73	0,048	2,34	502	857	0,946	0,716
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Carbra*	633	13	81,47	0,024	2,59	502	857	0,868	0,682
Chaorb	729	5	62,50	0,028	2,80	633	857	1,000	0,778
Ereglo*	502	8	80,00	0,008	3,68	502	857	1,000	0,960
Erydec	502	10	82,13	0,008	3,15	502	857	0,926	0,716
Erytor	729	10	71,71	0,016	3,19	502	857	0,972	0,812

Kiespe	770	7	84,01	0,008	3,95	502	857	0,994	0,950
Lepdas	502	12	85,70	0,004	3,21	502	814	0,822	0,616
Micfer*	770	7	69,46	0,016	2,50	502	857	0,958	0,672
Neethe	770	8	82,26	0,008	3,15	502	857	0,978	0,896
Ourhex	814	15	70,26	0,032	2,16	502	857	0,938	0,660
Palrig*	502	9	78,51	0,012	2,67	502	857	0,992	0,850
Plepop*	857	7	72,33	0,016	2,75	502	857	0,948	0,632
Poutor	857	5	78,31	0,004	3,73	633	857	0,988	0,770
Psimyr	770	8	73,28	0,008	3,52	502	857	0,968	0,834
Strads	857	7	78,53	0,024	2,35	633	857	0,986	0,806
Styfer	502	9	79,33	0,024	2,23	502	857	0,794	0,570
Tocfor	770	14	77,53	0,012	2,43	502	857	0,980	0,836
Velsqu*	857	6	77,56	0,012	3,29	633	857	0,952	0,766

Cerrado Rupestre

Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> -	5%	95%	Pureza	Confiança
Andcuj	651	5	83,33	0,004	5,07	651	747,5	1,000	0,884
Bowvir	802	13	82,91	0,004	3,40	730	907	0,894	0,734
Curame	907	7	63,64	0,048	2,22	651	907	0,938	0,646
Davell	907	13	96,94	0,004	3,83	730	907	0,926	0,844
Eugaur	730	5	55,75	0,040	2,09	651	802	0,966	0,594
Heiova	747,5	5	62,50	0,040	2,85	651	802	0,996	0,766
Hetbyr	651	14	76,05	0,048	2,07	651	907	0,930	0,624
Hymsti	802	14	83,02	0,016	2,56	651	907	0,860	0,660
Kierub	730	8	80,15	0,024	3,47	651	907	0,994	0,846
Mezcra	730	5	71,43	0,004	3,45	651	775	1,000	0,858
Ourspe	747,5	8	86,23	0,004	4,29	651	907	0,994	0,960
Pouram	730	11	74,92	0,040	2,06	651	907	0,970	0,608
Quapar	907	16	80,85	0,004	4,21	730	907	0,948	0,828
Salcon	775	8	88,89	0,004	3,61	651	907	0,960	0,904
Syacom	747,5	7	63,83	0,028	2,77	651	907	0,920	0,664

Syafle	730	9	67,61	0,044	1,95	651	907	0,828	0,510
Vatmac	907	13	86,72	0,012	2,73	651	907	0,988	0,750
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> ⁺	5%	95%	Pureza	Confiança
Andver	775	11	84,84	0,004	3,56	651	907	0,988	0,916
Chaorb	730	7	77,78	0,008	4,01	651	907	0,982	0,876
Cougra	802	6	63,96	0,024	2,23	651	907	0,944	0,646
Ereglo	802	6	76,29	0,004	3,98	651	907	0,992	0,896
Guanox	802	6	63,73	0,012	3,05	651	907	0,984	0,738
Micfer	747,5	10	85,76	0,008	2,86	651	907	0,906	0,728
Palrig	730	9	73,79	0,044	2,06	651	907	0,890	0,558
Plepop	907	10	81,20	0,004	3,04	651	907	0,982	0,802
Psimyr	775	10	69,05	0,040	2,47	651	907	0,946	0,672
Schmac	775	7	83,88	0,004	3,45	651	907	1,000	0,964
Schada	747,5	8	100,00	0,004	5,81	651	907	1,000	0,994
Tacvul	802	8	69,62	0,012	2,63	651	907	0,980	0,806
Velsqu	802	9	80,52	0,004	2,73	651	907	0,982	0,716
Wuncru	730	5	55,56	0,032	2,31	651	907	0,890	0,510
Wunmir	907	5	75,17	0,008	3,95	730	907	0,966	0,764

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 5. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente sazonalidade da temperatura. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Anaocc*	14,705	8	72,73	0,032	2,66	10,284	14,705	0,920	0,688
Psimyr*	12,301	8	64,74	0,040	2,52	10,284	14,705	0,942	0,682
Tacvul	10,735	12	77,74	0,032	2,36	10,284	14,705	0,924	0,658
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Annra	14,705	9	87,90	0,012	3,09	10,284	14,705	0,940	0,762
Asptom*	10,736	15	73,09	0,016	2,45	10,284	14,705	0,988	0,766
Buctom	12,301	6	65,92	0,020	2,95	10,284	14,705	0,992	0,760
Cougra	13,960	10	92,11	0,008	3,84	10,736	14,705	0,968	0,864
Erigrá	12,301	11	73,39	0,048	1,73	10,284	14,705	0,882	0,496
Eripub	14,705	5	54,67	0,008	2,72	10,284	14,705	0,874	0,472
Erysub	13,960	14	82,65	0,040	1,75	10,284	14,705	0,930	0,620
Eugpun	13,960	5	53,03	0,036	2,23	10,284	14,705	0,942	0,592
Lafpac*	11,124	14	76,21	0,040	1,82	10,284	14,705	0,936	0,526
Mouell	12,301	6	67,99	0,012	2,66	10,284	14,705	0,984	0,708
Ourspe	10,736	6	66,67	0,012	3,56	10,284	14,705	0,970	0,764
Psilar	14,705	6	56,29	0,040	1,73	10,284	14,705	0,746	0,428
Quamul*	10,736	12	87,45	0,004	4,48	10,284	13,960	0,998	0,958
Quapar	11,124	16	63,27	0,044	2,20	10,284	14,705	0,918	0,594
Vocruf	14,705	15	81,40	0,040	2,22	10,284	14,705	0,994	0,786
Cerrado Rupestre									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Anaocc	14,492	8	72,73	0,028	2,80	10,272	14,492	0,868	0,594
Andver	11,212	11	80,22	0,012	3,03	10,272	14,492	0,930	0,736

Aspmul	10,272	5	61,73	0,016	2,73	10,272	14,492	0,816	0,458
Banlat	13,867	8	80,00	0,008	3,51	10,272	14,492	0,976	0,824
Byrcoc	11,212	14	72,22	0,016	2,52	10,272	14,492	0,904	0,634
Consub	11,212	14	76,44	0,020	2,85	10,272	14,492	0,946	0,748
Ferell	10,272	7	80,06	0,004	3,68	10,272	13,867	0,980	0,758
Psimyr	12,325	10	66,56	0,036	2,40	10,272	14,492	0,888	0,588
Rouind	11,212	8	72,12	0,008	2,60	10,272	14,492	0,966	0,642
Salcra	11,212	8	85,15	0,012	3,68	10,272	14,492	0,964	0,848
Velsqu	10,272	9	74,97	0,032	2,43	10,272	14,492	0,964	0,724
Wuncru	12,325	5	55,56	0,028	2,43	10,272	14,492	0,936	0,566
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z+	5%	95%	Pureza	Confiança
Anncor	13,867	7	76,29	0,004	3,41	10,272	14,492	0,986	0,860
Aspmac	10,272	14	81,44	0,004	3,24	10,272	13,867	0,934	0,758
Asptom	10,272	12	98,09	0,004	4,92	10,272	13,867	0,960	0,866
Dalmis	11,212	6	62,13	0,036	2,46	10,272	14,492	0,936	0,670
Eugaur	12,325	5	55,75	0,016	2,32	10,272	14,492	0,916	0,540
Hymsti	10,272	14	80,72	0,016	2,53	10,272	13,867	0,822	0,634
Lafpac	10,764	11	71,71	0,024	2,10	10,272	14,492	0,888	0,538
Lepdas	10,272	12	70,97	0,036	2,28	10,272	14,492	0,904	0,596
Plaret	10,764	11	85,29	0,008	3,33	10,272	14,492	0,982	0,840
Pselon	12,325	7	85,22	0,004	4,15	10,272	14,492	0,982	0,892
Ptepub	10,764	10	71,16	0,032	2,46	10,272	14,492	0,946	0,684
Quagra	10,764	12	82,35	0,008	3,03	10,272	14,492	0,914	0,676
Quamul	11,212	11	96,41	0,004	4,27	10,272	13,867	1,000	0,994
Simver	14,492	10	71,37	0,048	1,92	10,272	14,492	0,606	0,336
Tabaur	10,272	6	60,00	0,036	2,42	10,272	14,492	0,720	0,418

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 6. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de precipitação. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiância = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiância
Anncor*	1613,0	5	55,56	0,032	2,50	1568,0	1633,5	0,844	0,472
Anncra	1595,5	9	82,57	0,032	2,70	1568,0	1633,5	0,990	0,862
Buctom	1595,5	6	58,86	0,016	2,36	1568,0	1633,5	0,954	0,642
Cougra	1595,5	10	77,93	0,016	2,98	1568,0	1633,5	0,946	0,726
Diohis	1633,5	13	76,49	0,036	1,84	1568,0	1633,5	0,748	0,518
Emmnit	1625,0	8	67,15	0,032	2,33	1568,0	1633,5	0,936	0,554
Eripub	1613,0	5	55,56	0,020	2,65	1568,0	1633,5	0,972	0,578
Eugaur	1595,5	6	75,00	0,008	4,15	1568,0	1633,5	0,986	0,880
Eugpun	1595,5	5	62,50	0,020	3,34	1568,0	1633,5	0,986	0,726
Hanoch	1595,5	13	70,27	0,024	2,80	1568,0	1633,5	0,966	0,828
Macacu	1613,0	8	77,39	0,036	2,12	1568,0	1633,5	0,958	0,734
Mouell	1595,5	6	60,17	0,032	1,95	1568,0	1633,5	0,924	0,566
Strpse	1595,5	10	93,06	0,004	4,15	1568,0	1633,5	0,998	0,988
Vocruf	1595,5	15	79,50	0,036	2,31	1568,0	1633,5	0,934	0,616
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiância
Byrcoc	1568	14	70,82	0,020	2,52	1568,0	1633,5	0,854	0,474
Chaorb*	1625	5	62,53	0,020	2,70	1568,0	1633,5	0,872	0,502
Micfer*	1633,5	7	77,69	0,012	2,73	1579,5	1633,5	0,976	0,744
Psimyr*	1625	8	65,35	0,020	2,67	1568,0	1633,5	0,964	0,756
Cerrado Rupestre									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiância
Anncor	1577,5	7	81,20	0,004	3,79	1570,0	1635,7	0,994	0,900

Coplan	1635,5	7	70,00	0,008	3,14	1570,0	1639,0	0,904	0,642
Eugaur	1633,5	5	55,56	0,048	2,38	1570,0	1639,0	0,818	0,420
Mezcra	1633,5	5	55,56	0,048	2,39	1570,0	1639,0	0,888	0,456
Pouram	1607,5	11	92,19	0,004	3,60	1570,0	1639,0	0,972	0,912
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z+	5%	95%	Pureza	Confiança
Byrpac	1635,5	14	74,99	0,020	2,43	1570,0	1639,0	0,900	0,684
Chaorb	1633,5	7	65,30	0,016	2,57	1570,0	1639,0	0,932	0,604
Erydec	1633,5	6	68,75	0,008	3,45	1570,0	1639,0	0,952	0,682
Hanspe	1639,0	12	89,53	0,016	2,49	1570,0	1639,0	0,932	0,712
Micalb	1635,5	8	76,12	0,028	2,61	1570,0	1639,0	0,872	0,616
Micfer	1633,5	10	73,02	0,048	1,82	1570,0	1639,0	0,780	0,402
Neethe	1635,5	11	84,75	0,024	2,37	1570,0	1639,0	0,834	0,556
Palrig	1633,5	9	94,91	0,004	3,98	1570,0	1639,0	0,960	0,878
Psimyr	1639,0	10	75,70	0,020	2,87	1570,0	1639,0	0,860	0,642
Simver	1633,5	10	72,67	0,020	2,42	1570,0	1639,0	0,924	0,608
Wuncru	1639,0	5	78,09	0,004	4,13	1577,5	1639,0	0,982	0,818

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 7. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de matéria orgânica. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Buctom	17,75	6	60,92	0,012	2,38	17,75	31,46	0,948	0,656
Byrver	17,75	10	75,17	0,040	2,11	17,75	31,46	0,756	0,402
Dalmis	30,26	9	68,06	0,040	2,29	17,75	31,46	0,818	0,496
Diohis	31,46	13	87,42	0,012	2,90	17,75	31,46	0,956	0,768
Emmnit	24,75	8	63,86	0,036	2,43	17,75	31,46	0,972	0,638
Eugaur	30,26	6	60,00	0,048	2,41	17,75	31,46	0,970	0,642
Eugpun	17,75	5	65,66	0,008	3,16	17,75	24,75	0,998	0,752
Hanoch	19,51	13	74,77	0,024	2,85	17,75	31,46	0,978	0,848
Macacu	17,75	8	81,76	0,012	2,47	17,75	30,26	0,970	0,702
Mouell	17,75	6	63,45	0,028	2,11	17,75	31,46	0,936	0,610
Myrspl	24,75	9	72,22	0,036	1,91	17,75	31,46	0,918	0,598
Schmac	18,31	5	54,49	0,048	2,34	17,75	31,46	0,888	0,446
Strpse	30,26	10	76,36	0,012	2,58	17,75	31,46	0,892	0,606
Vocruf	17,75	15	84,00	0,008	2,74	17,75	31,46	0,988	0,768
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Chaorb	31,46	5	76,42	0,012	3,23	18,31	31,46	0,918	0,700
Erytor	24,75	10	79,09	0,004	3,96	17,75	31,46	0,988	0,886
Hanspe	17,75	15	84,21	0,024	2,30	17,75	31,46	0,958	0,702
Micfer	30,26	7	82,00	0,004	3,24	17,75	31,46	0,990	0,880
Psimyr	30,26	8	65,35	0,024	2,32	17,75	31,46	0,924	0,658
Syafle	19,51	6	62,16	0,048	2,30	17,75	31,46	0,882	0,554

Velsqu	30,26	6	60,48	0,040	2,00	17,75	31,46	0,940	0,568
Vocell	30,26	5	65,79	0,008	3,00	17,75	31,46	0,980	0,754
Cerrado Rupestre									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z-	5%	95%	Pureza	Confiança
Andcuj	33,70	5	55,56	0,044	2,52	23,80	42,65	0,864	0,484
Bowvir	31,36	13	78,90	0,016	3,05	23,80	42,65	0,976	0,842
Consub	31,36	14	71,26	0,040	2,23	23,80	42,65	0,914	0,680
Curame	33,70	7	60,07	0,048	2,17	23,80	42,65	0,952	0,566
Davell	33,70	13	89,82	0,004	3,22	23,80	42,65	1,000	0,950
Dimmol	33,70	8	69,41	0,032	2,57	23,80	42,65	0,948	0,682
Erydec	23,80	6	62,71	0,008	2,85	23,80	42,65	0,984	0,614
Hetbyr	33,70	14	88,50	0,004	3,14	28,96	42,65	0,960	0,892
Roumon	23,80	11	83,11	0,024	2,77	23,80	42,65	0,978	0,754
Rouind	31,36	8	81,89	0,012	3,07	23,80	42,65	0,958	0,858
Salcon	33,70	8	77,42	0,020	2,62	23,80	42,65	0,988	0,798
Vatmac	33,70	13	86,19	0,012	2,94	23,80	42,65	0,960	0,834
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z+	5%	95%	Pureza	Confiança
Ereglo	33,70	6	67,67	0,016	3,14	23,80	42,65	0,936	0,698
Plepop	33,70	10	79,81	0,008	3,23	23,80	42,65	0,936	0,740
Schmac	33,70	7	67,56	0,016	2,52	23,80	42,65	0,916	0,628
Schada	33,70	8	69,00	0,032	2,86	23,80	42,65	0,970	0,716
Wunmir	33,70	5	71,43	0,004	4,11	28,96	42,65	0,994	0,886
Ereglo	33,70	6	67,67	0,016	3,14	23,80	42,65	0,936	0,698

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 8. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de Sódio. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z -) ou positiva (z +); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z -	5%	95%	Pureza	Confiança
Anaocc	2,67	8	86,62	0,004	3,81	2,67	5,60	0,954	0,858
Byrcoc	5,30	14	68,50	0,044	2,00	2,67	5,60	0,860	0,506
Erydec	4,95	10	74,52	0,044	2,13	3,30	5,60	0,904	0,698
Macopa	3,30	5	54,14	0,040	2,43	2,67	5,60	0,886	0,382
Micalb	4,95	11	83,40	0,040	1,78	2,67	5,60	0,724	0,500
Micfer*	4,10	7	73,03	0,008	3,06	2,67	5,60	0,948	0,678
Palrig*	5,60	9	81,82	0,028	2,82	2,67	5,60	0,900	0,604
Psimyr*	4,10	8	75,66	0,004	3,60	2,67	5,60	0,972	0,842
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z +	5%	95%	Pureza	Confiança
Anncra	4,10	9	84,42	0,012	3,02	2,67	5,60	0,954	0,812
Asptom	5,30	15	72,84	0,044	2,16	2,67	5,60	0,936	0,580
Buctom	4,10	6	75,00	0,004	3,94	2,67	5,60	0,998	0,906
Cougra	2,67	10	72,64	0,032	2,12	2,67	5,60	0,924	0,672
Emmnit	5,60	8	65,78	0,040	2,09	2,67	5,60	0,838	0,520
Eugpun	4,10	5	62,50	0,016	3,43	2,67	5,60	0,986	0,796
Guanox	2,67	12	71,47	0,044	1,94	2,67	5,60	0,834	0,456
Lichum	4,95	5	71,43	0,004	3,75	3,30	5,60	1,000	0,866
Mezcra*	5,60	5	78,84	0,008	3,73	4,10	5,60	1,000	0,874
Mouell*	4,10	6	75,00	0,004	3,10	2,67	5,60	0,926	0,822
Quamul*	2,67	12	72,09	0,028	2,48	2,67	5,60	0,894	0,642
Strpse	2,67	10	81,96	0,012	2,98	2,67	5,60	0,950	0,762

Syacom	5,30	10	81,37	0,040	1,98	2,67	5,60	0,988	0,616
Cerrado Rupestre									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z-	5%	95%	Pureza	Confiança
Andver	5,65	11	98,18	0,004	4,00	3,04	5,90	1,000	0,986
Banlat	3,04	8	80,65	0,004	2,90	3,04	5,65	0,988	0,720
Byrpac	5,20	14	76,21	0,008	3,15	3,04	5,90	0,960	0,796
Chaorb	5,20	7	65,35	0,020	2,79	3,04	5,90	0,884	0,562
Consub	5,20	14	76,21	0,004	2,98	3,04	5,90	0,992	0,928
Cougra	5,20	6	66,67	0,032	2,61	3,04	5,90	0,954	0,670
Diohis	3,04	6	79,56	0,004	4,62	3,04	5,20	0,998	0,904
Micfer	5,20	10	99,60	0,004	3,94	3,04	5,90	0,962	0,928
Palrig	5,65	9	78,93	0,024	2,51	3,04	5,90	0,872	0,644
Psimyr	4,65	10	79,69	0,004	3,93	3,04	5,90	0,988	0,922
Rouind	3,04	8	79,37	0,012	3,19	3,04	5,65	0,974	0,728
Salcra	3,04	8	97,13	0,004	4,77	3,04	5,65	0,994	0,964
Schada	5,65	8	80,00	0,008	3,44	3,04	5,90	0,940	0,764
Simver	5,90	10	71,35	0,040	2,16	3,04	5,90	0,820	0,492
Tacvul	5,65	8	69,47	0,044	2,21	3,04	5,90	0,800	0,542
Velsqu	4,65	9	84,16	0,008	3,53	3,04	5,90	0,978	0,774
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z+	5%	95%	Pureza	Confiança
Andcuj	5,65	5	61,40	0,008	3,18	4,20	5,90	0,942	0,690
Corses	5,90	5	78,91	0,008	3,94	4,20	5,90	0,990	0,782
Curame	4,65	7	72,47	0,004	3,42	3,04	5,90	0,972	0,810
Eugaur	5,65	5	65,41	0,024	3,02	3,04	5,90	0,974	0,756
Heiova	5,90	5	76,52	0,016	3,76	4,20	5,90	0,954	0,678
Lafpac	5,20	11	75,60	0,040	2,35	3,04	5,90	0,938	0,672
Mezcra	5,65	5	83,33	0,004	4,59	4,20	5,90	0,998	0,902
Mouell	5,90	5	78,13	0,012	3,91	4,20	5,90	0,996	0,844

Ourspe	5,65	8	70,55	0,020	2,34	3,04	5,90	0,936	0,668
Plaret	4,65	11	82,41	0,024	2,69	3,04	5,90	0,978	0,784
Pouram	5,65	11	81,38	0,024	2,44	3,04	5,90	0,896	0,638
Pselon	4,65	7	74,44	0,012	3,22	3,04	5,90	0,986	0,822
Quamul	4,65	11	79,13	0,012	2,75	3,04	5,90	0,960	0,744
Vatmac	5,65	13	79,83	0,032	2,27	3,04	5,90	0,952	0,720

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 9. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de magnésio. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Chaorb	0,11	5	56,87	0,032	2,11	0,10	0,13	0,974	0,620
Ereglo	0,11	8	84,58	0,008	3,99	0,10	0,13	0,994	0,934
Hanspe*	0,13	15	94,02	0,008	2,92	0,11	0,13	0,936	0,706
Kiespe	0,12	7	77,78	0,016	3,41	0,10	0,13	0,980	0,840
Ourhex*	0,13	15	71,07	0,024	2,21	0,10	0,13	0,896	0,498
Palrig	0,12	9	67,95	0,044	2,06	0,10	0,13	0,970	0,622
Poutor	0,12	5	55,56	0,044	2,42	0,10	0,13	0,962	0,464
Psimyr	0,13	8	72,73	0,028	3,08	0,10	0,13	0,978	0,832
Strads	0,11	7	87,50	0,004	3,86	0,10	0,13	0,998	0,948
Styfer	0,11	9	97,49	0,008	4,02	0,10	0,13	0,950	0,884
Tocfor	0,13	14	78,26	0,012	2,59	0,10	0,13	0,940	0,726
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Astfra	0,100	6	60,00	0,012	2,64	0,10	0,13	0,906	0,454
Buctom	0,130	6	95,83	0,004	5,57	0,10	0,13	1,000	0,986
Curame	0,100	10	88,67	0,004	3,77	0,10	0,13	0,968	0,794
Diohis	0,120	13	75,16	0,032	2,23	0,10	0,13	0,944	0,648
Emmnit	0,120	8	70,06	0,032	2,56	0,10	0,13	0,912	0,662
Erigr-	0,120	11	90,00	0,004	3,33	0,10	0,13	0,996	0,944
Eugpun	0,120	5	71,43	0,004	4,25	0,10	0,13	0,998	0,904
Hymsti	0,105	15	73,56	0,032	2,42	0,10	0,13	0,830	0,558
Lafpac*	0,130	14	80,38	0,028	1,92	0,10	0,13	0,890	0,490

Lichum	0,120	5	71,43	0,004	3,89	0,10	0,13	1,000	0,892
Macacu	0,120	8	92,61	0,004	3,67	0,10	0,13	0,994	0,948
Mezcra*	0,120	5	71,43	0,004	3,78	0,10	0,13	0,998	0,880
Mouell*	0,130	6	98,43	0,004	5,53	0,11	0,13	1,000	0,990
Ourspe*	0,120	6	62,86	0,028	2,88	0,10	0,13	0,970	0,754
Quagra	0,100	14	91,36	0,004	3,23	0,10	0,13	0,892	0,546
Roumon	0,130	15	87,28	0,012	2,38	0,10	0,13	0,932	0,500
Rouind	0,100	13	79,53	0,04	2,04	0,10	0,13	0,838	0,356
Salcon	0,110	12	79,41	0,008	3,52	0,10	0,13	0,986	0,910
Strrot	0,120	8	74,88	0,016	2,78	0,10	0,13	0,968	0,786
Terarg	0,130	6	77,84	0,012	3,43	0,10	0,13	0,964	0,732

Cerrado Rupestre

Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> -	5%	95%	Pureza	Confiança
Andver	0,13	11	88,74	0,004	3,07	0,12	0,13	0,970	0,818
Byrpcac	0,12	14	74,99	0,020	2,56	0,12	0,13	0,976	0,820
Cassyl	0,12	5	62,50	0,016	3,08	0,12	0,13	0,994	0,568
Chorib	0,12	7	65,17	0,040	2,37	0,12	0,13	0,980	0,654
Consub	0,12	14	73,17	0,016	2,44	0,12	0,13	0,994	0,914
Diohis	0,12	6	61,54	0,028	2,39	0,12	0,13	0,978	0,630
Hanser	0,12	8	68,07	0,016	2,66	0,12	0,13	0,898	0,580
Micalb	0,12	8	77,38	0,016	2,92	0,12	0,13	0,996	0,868
Micfer	0,12	10	87,74	0,012	3,01	0,12	0,13	0,996	0,912
Neethe	0,12	11	82,47	0,016	2,45	0,12	0,13	0,954	0,658
Ourhex	0,12	14	80,84	0,024	2,33	0,12	0,13	0,994	0,824
Schada	0,13	8	72,73	0,028	2,62	0,12	0,13	0,892	0,582
Simver	0,12	10	71,09	0,028	2,54	0,12	0,13	0,962	0,640
Vocgar	0,13	7	70,00	0,048	2,39	0,12	0,13	0,894	0,696
Vocruf	0,12	9	78,95	0,012	2,72	0,12	0,13	0,990	0,742

	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> +	5%	95%	Pureza	Confiança
Andcuj	0,13	5	53,59	0,024	2,07	0,12	0,13	0,874	0,492
Corses	0,13	5	78,91	0,008	4,04	0,12	0,13	0,996	0,848
Eugaur	0,13	5	57,32	0,016	2,03	0,12	0,13	0,988	0,720
Heiova	0,13	5	76,52	0,012	3,72	0,12	0,13	0,946	0,704
Lafpac	0,12	11	78,57	0,028	2,67	0,12	0,13	0,940	0,654
Mezcra	0,13	5	61,75	0,012	2,55	0,12	0,13	0,958	0,720
Mouell	0,13	5	78,13	0,004	4,24	0,12	0,13	0,982	0,814
Ourspe	0,13	8	69,65	0,040	2,16	0,12	0,13	0,848	0,600
Quapar	0,13	16	70,64	0,032	2,23	0,12	0,13	0,926	0,628
Vatmac	0,13	13	82,35	0,028	2,16	0,12	0,13	0,962	0,602

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 10. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de Cálcio. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiância = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiância
Brogau	0,21	6	67,91	0,016	2,67	0,21	0,23	0,956	0,582
Carbra	0,23	13	83,02	0,016	2,58	0,21	0,23	0,978	0,830
Corses	0,21	5	57,97	0,036	2,77	0,21	0,23	0,996	0,690
Davell	0,22	16	71,51	0,044	2,15	0,21	0,23	0,936	0,708
Ereglo	0,21	8	84,56	0,004	4,32	0,21	0,23	1,000	0,976
Erydec*	0,23	10	93,12	0,004	4,14	0,21	0,23	1,000	0,964
Guanox	0,23	12	76,82	0,048	2,06	0,21	0,23	0,908	0,612
Kiecor	0,23	15	92,72	0,016	2,04	0,21	0,23	0,946	0,670
Kiespe	0,23	7	77,78	0,012	3,47	0,21	0,23	0,982	0,844
Lepdas	0,21	12	79,57	0,008	3,36	0,21	0,231	0,960	0,698
Micfer*	0,23	7	64,43	0,048	2,19	0,21	0,231	0,956	0,490
Myrgui.1	0,21	5	66,41	0,008	3,69	0,21	0,230	0,996	0,726
Neethe	0,23	8	80,00	0,008	3,13	0,21	0,231	0,920	0,752
Ourhex*	0,23	15	74,57	0,016	2,54	0,21	0,231	0,924	0,692
Palrig	0,22	9	98,88	0,004	4,34	0,21	0,230	1,000	0,984
Poutor	0,23	5	55,56	0,028	2,31	0,21	0,231	0,964	0,538
Psimyr	0,23	8	69,26	0,012	3,39	0,21	0,231	0,950	0,752
Schmac	0,23	5	55,56	0,044	2,30	0,21	0,231	0,968	0,540
Strads	0,21	7	82,34	0,008	3,14	0,21	0,230	0,988	0,812
Styfer	0,21	9	91,05	0,004	3,31	0,21	0,231	0,998	0,960
Tocfor	0,22	14	77,14	0,004	2,60	0,21	0,231	0,952	0,838

Vocruf*	0,23	15	87,47	0,004	2,78	0,21	0,231	0,824	0,668
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z+	5%	95%	Pureza	Confiança
Andcuj	0,23	6	64,10	0,036	2,64	0,21	0,23	0,936	0,682
Buctom	0,23	6	58,38	0,020	2,44	0,21	0,23	0,856	0,552
Emmnit	0,23	8	77,80	0,012	3,51	0,21	0,23	0,952	0,740
Hetbyr	0,21	12	83,84	0,028	2,64	0,21	0,23	0,856	0,486
Kierub	0,23	6	57,06	0,048	2,23	0,21	0,23	0,886	0,556
Lichum	0,23	5	71,43	0,004	4,07	0,21	0,23	0,994	0,834
Mezcra	0,23	5	71,43	0,004	3,86	0,21	0,23	0,970	0,800
Salcon	0,23	12	80,69	0,020	3,12	0,21	0,23	0,982	0,884
Strrot	0,21	8	75,83	0,016	3,27	0,21	0,23	0,976	0,832
Terarg	0,23	6	61,50	0,040	2,33	0,21	0,23	0,894	0,512
Vatmac	0,21	12	80,49	0,008	3,18	0,21	0,23	0,896	0,578

Cerrado Rupestre

Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z-	5%	95%	Pureza	Confiança
Andver	0,24	11	71,80	0,036	1,97	0,24	0,30	0,900	0,508
Consub	0,28	14	70,97	0,036	2,15	0,24	0,30	0,954	0,664
Erydec	0,24	6	62,71	0,036	2,33	0,24	0,30	0,944	0,582
Hanspe	0,30	12	87,93	0,020	2,21	0,24	0,30	0,980	0,666
Micalb	0,24	8	66,58	0,028	2,31	0,24	0,30	0,894	0,538
Ourhex	0,28	14	80,06	0,020	2,20	0,24	0,30	0,952	0,642
Tacvul	0,28	8	63,59	0,024	2,44	0,24	0,30	0,880	0,548
Xylaro	0,28	8	71,09	0,040	2,24	0,24	0,30	0,950	0,658
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	z+	5%	95%	Pureza	Confiança
Coplan	0,24	7	70,00	0,008	3,09	0,24	0,30	0,918	0,626
Corses	0,28	5	55,83	0,032	2,15	0,24	0,30	0,926	0,540
Eugaur	0,28	5	54,34	0,044	2,22	0,24	0,30	0,958	0,550
Heiova	0,30	5	76,52	0,016	3,75	0,24	0,30	1,000	0,858

Lafpac	0,25	11	78,57	0,032	2,35	0,24	0,30	0,892	0,584
Ourspe	0,30	8	66,73	0,048	1,99	0,24	0,30	0,892	0,502

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 11. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de Potássio. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Aspmac	0,12	11	77,27	0,028	2,18	0,08	0,12	0,780	0,402
Byrver	0,08	10	76,76	0,036	2,21	0,08	0,12	0,948	0,614
Hanoch	0,12	13	72,96	0,016	2,71	0,08	0,12	0,854	0,554
Palrig	0,09	9	69,52	0,024	2,32	0,08	0,12	0,898	0,544
Tocfor	0,09	14	77,14	0,008	2,64	0,08	0,12	0,970	0,832
Vocruf	0,09	15	82,23	0,024	2,51	0,08	0,12	0,882	0,682
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Astfra	0,12	6	95,55	0,004	5,02	0,08	0,12	1,000	0,950
Curame	0,12	10	89,66	0,008	3,25	0,08	0,12	0,958	0,706
Entgum	0,09	11	72,00	0,008	2,84	0,08	0,12	0,978	0,826
Erigra	0,08	11	81,46	0,024	2,45	0,08	0,12	0,816	0,570
Macopa	0,12	5	56,77	0,032	2,41	0,08	0,12	0,912	0,538
Magpub	0,09	7	87,50	0,004	5,01	0,08	0,12	1,000	0,968
Pselon*	0,12	5	57,47	0,036	2,20	0,08	0,12	0,956	0,584
Terarg	0,12	6	70,53	0,028	2,80	0,08	0,12	0,972	0,758

Astfra	0,12	6	95,55	0,004	5,02	0,08	0,12	1,000	0,950
Cerrado Rupestre									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> -	5%	95%	Pureza	Confiança
Eripub	0,13	5	62,50	0,020	2,86	0,11	0,15	0,932	0,652
Ourhex	0,16	14	77,62	0,048	1,77	0,11	0,16	0,844	0,476
Schada	0,15	8	69,44	0,024	2,54	0,11	0,16	0,920	0,626
Tacvul	0,13	8	62,59	0,044	2,06	0,11	0,16	0,890	0,532
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> +	5%	95%	Pureza	Confiança
Andcuj	0,16	5	50,54	0,024	2,03	0,11	0,16	0,730	0,426
Corses	0,15	5	83,33	0,004	5,23	0,12	0,16	1,000	0,894
Erysub	0,11	15	79,68	0,040	1,73	0,11	0,16	0,868	0,394
Eugaur	0,16	5	57,32	0,028	2,36	0,11	0,16	0,930	0,604
Heiova	0,15	5	83,33	0,004	5,2	0,13	0,16	0,998	0,910
Himobo	0,13	8	85,20	0,004	3,53	0,11	0,16	0,966	0,908
Kierub	0,16	8	90,63	0,008	4,39	0,12	0,16	0,950	0,854
Lafpac	0,16	11	74,58	0,032	2,16	0,11	0,16	0,938	0,698
Mouell	0,16	5	53,88	0,028	2,21	0,11	0,16	0,870	0,490
Ourspe	0,15	8	73,15	0,012	3,01	0,11	0,16	0,930	0,680
Pselon	0,16	7	77,46	0,020	3,04	0,11	0,16	0,978	0,632
Quagra	0,14	12	82,50	0,012	3,16	0,11	0,16	0,968	0,848
Quapar	0,13	16	75,06	0,004	3,81	0,11	0,15	0,998	0,958
Syacom	0,15	7	71,07	0,008	3,23	0,12	0,16	0,918	0,684
Syafle	0,16	9	84,17	0,012	2,75	0,11	0,16	0,840	0,616
Tabaur	0,14	6	61,53	0,012	2,63	0,11	0,16	0,886	0,540
Tacaur	0,12	7	65,09	0,036	2,41	0,11	0,16	0,942	0,634

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 12. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de Enxofre. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Buctom	4,15	6	60,48	0,032	2,24	4,15	6,33	0,932	0,516
Cassyl	4,42	7	69,14	0,048	2,05	4,15	6,33	0,954	0,488
Curame	4,15	10	71,28	0,032	2,34	4,15	6,33	0,918	0,634
Emmnit	4,15	8	84,70	0,004	3,64	4,15	6,33	0,952	0,736
Erigra	4,15	11	88,98	0,016	2,73	4,15	6,33	0,952	0,680
Eugpun	4,15	5	60,28	0,036	2,67	4,15	6,33	0,964	0,602
Lafpac	4,66	14	79,18	0,040	1,99	4,15	6,33	0,936	0,540
Magpub	4,15	7	60,05	0,044	1,91	4,15	6,33	0,920	0,536
Mouell	4,15	6	63,74	0,004	2,07	4,15	6,33	0,894	0,534
Pselon	4,15	5	65,48	0,004	2,81	4,15	6,33	0,958	0,712
Quagra	4,15	14	80,34	0,040	2,31	4,15	6,33	0,848	0,458
Salcon	4,15	12	73,33	0,032	2,38	4,15	6,33	0,884	0,622
Simver	4,15	5	64,63	0,012	3,17	4,15	5,86	0,970	0,652
Tacaur	4,42	12	88,71	0,004	4,39	4,15	6,33	0,992	0,904
Xylaro	5,11	7	65,97	0,024	2,47	4,15	6,33	0,972	0,798
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Aspmac	5,86	11	75,97	0,036	1,92	4,15	6,33	0,952	0,522
Poutor	4,42	5	55,56	0,028	2,24	4,15	6,33	0,888	0,466
Vatmac	6,33	12	76,98	0,016	2,58	4,15	6,33	0,854	0,512

Cerrado Rupestre

Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> -	5%	95%	Pureza	Confiança
Hanser	5,47	8	63,39	0,004	3,01	4,89	7,69	0,960	0,646
Pouram	4,89	11	81,78	0,016	2,49	4,89	7,69	0,910	0,552
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> +	5%	95%	Pureza	Confiança
Tacaur	5,25	7	73,61	0,004	3,05	4,89	7,69	0,962	0,812

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 13. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de Argila. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Buctom	10,95	6	80,35	0,004	4,18	10,95	15,50	0,976	0,852
Cougra	10,95	10	72,28	0,044	2,25	10,95	18,15	0,826	0,404
Emmnit	10,95	8	70,58	0,016	2,69	10,95	22,10	0,964	0,752
Eugaur	10,95	6	61,53	0,012	2,83	10,95	18,15	0,930	0,590
Eugpun	10,95	5	83,33	0,004	5,24	10,95	13,95	1,000	0,894
Hanoch	15,50	13	70,76	0,008	2,97	10,95	22,10	0,984	0,780
Lichum	10,95	5	56,28	0,016	2,55	10,95	22,10	0,860	0,580
Macacu	10,95	8	77,24	0,04	2,32	10,95	22,10	0,812	0,524
Mezcra	10,95	5	65,40	0,02	3,13	10,95	22,10	0,972	0,680
Mouell	10,95	6	81,44	0,008	3,60	10,95	18,15	0,968	0,826
Psilar	12,85	6	59,80	0,044	2,15	10,95	22,10	0,794	0,494
Quapar	22,10	16	69,25	0,008	3,47	10,95	22,10	0,928	0,730
Vatmac	18,15	12	75,17	0,04	2,36	10,95	22,10	0,822	0,538
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Brogau	15,50	6	66,11	0,024	2,88	12,85	22,10	0,958	0,734
Macopa	22,10	5	78,34	0,004	3,96	12,85	22,10	0,992	0,816
Micfer	15,50	7	68,97	0,012	2,71	10,95	22,10	0,944	0,676
Tabaur	15,50	10	73,34	0,044	1,93	10,95	22,10	0,830	0,510
Brogau	15,50	6	66,11	0,024	2,88	12,85	22,10	0,958	0,734
Cerrado Rupestre									

Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> -	5%	95%	Pureza	Confiança
Schmac	9,15	7	62,68	0,032	2,00	9,15	12,32	0,936	0,470
Wunmir	9,15	5	61,45	0,024	2,89	9,15	12,32	0,902	0,526
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> +	5%	95%	Pureza	Confiança
Chorib	10,13	7	64,41	0,040	2,38	9,15	12,32	0,920	0,548
Davell	9,15	13	76,58	0,036	1,96	9,15	12,32	0,846	0,520
Quapar	9,15	16	73,78	0,004	2,89	9,15	11,30	0,926	0,668
Rouind	11,3	8	72,16	0,024	2,25	9,15	12,32	0,980	0,770

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 14. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de capacidade de troca catiônica. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Agobra	4,21	9	65,79	0,024	2,26	4,21	5,51	0,932	0,604
Bowvir	4,21	13	69,02	0,036	2,10	4,21	5,51	0,838	0,448
Buctom	4,48	6	50,91	0,048	1,72	4,21	5,51	0,794	0,370
Byrver	5,25	10	86,42	0,008	2,82	4,21	5,51	0,976	0,846
Dalmis	4,48	9	71,59	0,048	2,25	4,21	5,51	0,854	0,520
Emmnit	4,48	8	67,70	0,028	2,49	4,21	5,51	0,942	0,550
Eugpun	4,48	5	56,03	0,012	2,83	4,21	5,51	0,966	0,550
Hanoch	4,98	13	72,97	0,016	3,07	4,21	5,51	0,958	0,800
Macacu	4,48	8	69,69	0,036	1,78	4,21	5,51	0,886	0,440
Micalb	4,21	11	84,63	0,040	1,88	4,21	5,51	0,848	0,436
Mouell	4,48	6	53,62	0,032	1,55	4,21	5,51	0,776	0,300
Myrspl*	4,21	9	79,25	0,012	2,65	4,21	5,51	0,984	0,688
Plaret	4,98	12	80,56	0,016	2,53	4,21	5,51	0,954	0,738
Rouind*	4,98	13	81,30	0,020	2,39	4,21	5,51	0,978	0,760
Vatmac	4,98	12	83,60	0,008	3,02	4,21	5,51	0,966	0,854
	Obs.	Freq.	IndVal	P	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Chaorb	4,98	5	62,50	0,020	2,67	4,21	5,51	0,890	0,622
Eripub	5,51	5	50,45	0,048	1,88	4,21	5,51	0,754	0,306
Erytor*	4,98	10	87,80	0,004	4,69	4,21	5,30	0,998	0,956
Syafle	5,51	6	74,63	0,016	3,21	4,21	5,51	0,980	0,796

Velsqu	4,48	6	66,67	0,020	2,89	4,21	5,51	0,962	0,670
Cerrado Rupestre									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> -	5%	95%	Pureza	Confiança
Ferell	6,70	7	59,36	0,040	1,97	6,70	9,41	0,872	0,466
Hanser	9,02	8	80,00	0,012	3,90	6,70	9,41	0,976	0,850
Myrspl	6,70	6	79,46	0,004	3,71	6,70	9,02	0,958	0,808
Roumon	9,02	11	83,00	0,020	2,68	6,70	9,41	0,950	0,672
Rouind	6,70	8	69,84	0,016	2,56	6,70	9,41	0,902	0,520
Salcon	8,08	8	84,69	0,004	3,56	6,70	9,02	0,994	0,902
Vocgar	6,70	7	78,19	0,004	3,34	6,70	9,41	0,934	0,672
	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> +	5%	95%	Pureza	Confiança
Ereglo	9,41	6	71,84	0,028	2,99	6,70	9,41	0,982	0,788
Erytor	7,38	7	63,93	0,024	2,62	6,70	9,41	0,888	0,568
Lafpac	6,70	11	76,46	0,028	2,51	6,70	9,41	0,864	0,558
Schmac	8,08	7	72,95	0,004	2,83	6,70	9,41	0,992	0,890
Schada	8,08	8	62,38	0,036	2,06	6,70	9,41	0,918	0,688
Wunmir	8,08	5	62,50	0,044	2,77	6,70	9,41	0,980	0,728

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 15. Resultados da análise do TITAN para comunidades de plantas lenhosas em ambientes de Cerrado Típico (CT) e Cerrado Rupestre (CR) como resposta ao gradiente de fósforo. Onde: Obs. = ponto de mudança observado; Freq. = ocorrência da espécie; IndVal = valor de indicação da espécie; p = valor de significância do IndVal; z = escore padronizado do indicador TITAN; 5% e 95% = quantis limiares; pureza = proporção de direção da resposta correta, se negativa (z^-) ou positiva (z^+); Confiança = fidelidade dos taxa. Os nomes completos das espécies indicadas pelas siglas constam no Apêndice 3.

Cerrado Típico									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Chaorb	2,64	5	62,5	0,032	2,42	1,62	3,20	0,988	0,696
Consub	3,60	16	75,54	0,048	1,85	1,62	3,60	0,742	0,438
Ereglo	2,64	8	68,75	0,044	2,34	1,62	3,60	0,982	0,692
Strads	2,64	7	74,26	0,040	2,22	1,62	3,20	0,998	0,824
Tacvul	3,60	12	78,69	0,044	1,99	1,62	3,60	0,812	0,472
	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^+	5%	95%	Pureza	Confiança
Dalmis	2,82	9	70,71	0,020	2,66	1,62	3,60	0,924	0,604
Guagra*	3,20	11	75,79	0,028	2,63	1,62	3,60	0,968	0,780
Hetbyr	3,60	12	88,32	0,008	2,98	1,62	3,60	0,988	0,856
Kierub	3,20	6	55,39	0,048	2,18	1,62	3,60	0,912	0,534
Lichum	3,60	5	49,29	0,040	2,17	1,62	3,60	0,768	0,318
Ourspe	3,60	6	66,59	0,016	3,02	1,62	3,60	0,904	0,612
Plaret	2,64	12	86,11	0,020	3,07	1,62	3,60	0,994	0,940
Quagra*	1,62	14	84,11	0,020	2,49	1,62	3,60	0,938	0,636
Salcon	2,64	12	78,92	0,016	2,96	1,62	3,60	0,994	0,928
Vatmac	2,82	12	88,96	0,004	4,30	1,62	3,60	1,000	0,996
Cerrado Rupestre									
Sigla das espécies	Obs.	Freq.	IndVal	p	z^-	5%	95%	Pureza	Confiança
Hanspe	5,84	12	86,48	0,024	2,36	4,025	5,84	0,720	0,494
Xylaro	5,55	8	69,12	0,036	2,24	4,025	5,84	0,900	0,558

	Obs.	Freq.	IndVal	<i>p</i>	<i>z</i> ⁺	5%	95%	Pureza	Confiança
Agobra	5,84	7	69,77	0,036	2,38	4,03	5,84	0,914	0,552
Andcuj	5,84	5	50,54	0,048	1,77	4,03	5,84	0,806	0,384
Dimmol	4,54	8	66,71	0,024	2,74	4,03	5,84	0,938	0,650
Erigra	5,18	11	88,87	0,012	3,31	4,03	5,84	0,986	0,886
Guagra	4,54	12	81,05	0,036	2,10	4,03	5,84	0,810	0,544
Himobo	4,54	8	70,06	0,036	2,12	4,03	5,84	0,852	0,608
Quagra	4,03	12	71,33	0,044	2,04	4,03	5,84	0,834	0,516
Rouind	5,84	8	67,22	0,032	1,95	4,03	5,84	0,904	0,534
Tacaur	5,18	7	68,83	0,004	3,27	4,54	5,84	0,984	0,784
Tocfor	4,54	10	74,02	0,004	3,36	4,03	5,84	0,936	0,660

* Espécie com respostas semelhantes nos dois ambientes.

Apêndice 16. Descrição das variáveis ambientais utilizadas nas análises numéricas. Os preditores em negrito foram incluídos nas análises após a seleção de variáveis (VIF < 3). CT= Cerrado Típico e CR= Cerrado Rupestre.

Variável	Descrição	CT Média e DVP	CR Média e DVP
Areia	Areia no solo (g/kg)	71,54±21,82	82,87±7,75
Argila	Argila no solo (g/kg)	17,87±11,17	12,44±6,56
Silte	Silte no solo (g/kg)	5,07±2,55	4,69±1,23
Ca	Cálcio (cmolc/dm ³) (mE/100 ml)	0,27±0,17	0,33±0,19
CTC	Capacidade de troca catiônica	5,09±1,60	8,00±2,29
K	Potássio (cmolc/dm ³) (mE/100 ml)	0,11±0,06	0,14±0,06
Mg	Magnésio (cmolc/dm ³) (mE/100 ml)	0,35±0,82	0,15±0,09
Mn	Manganês (mg/dm ³) (ppm)	13,00±17,57	11,02±13,75
MO	Matéria orgânica no solo (%)	23,36±9,69	33,00±15,32
Na	Sódio (mg/dm ³) (ppm)	4,30±3,33	4,55±3,49
pH	pH em Cálcio (CaCl ₂)	3,98±0,33	3,78±0,37
P	Fósforo (MEHLICH) (mg/dm ³) (ppm)	2,44±1,54	4,28±2,15
S	Enxofre (mg/dm ³) (ppm)	5,96±3,33	6,88±3,44
Zn	Zinco (mg/dm ³) (ppm)	0,67±0,43	0,76±0,54
Altitude	Em relação ao nível do mar (m)	675,50±334,18	737,44±296,20
Declividade	Inclinação do terreno (graus)	4,35±4,62	6,31±3,50
Temperatura anual	Temperatura média anual (°C)	23,12±1,70	22,89±1,57
Sazonalidade da temperatura	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100) (°C)	11,98±2,76	11,44±3,97
Precipitação	Precipitação anual (mm)	1598±46,92	1601±51,0

Famílias/Espécies	Cerrado Rupestre																Cerrado Típico																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
<i>Agarista chapadensis</i> (Kin.-Gouv.) Judd	+																																								
Erythroxylaceae																																									
<i>Erythroxylum anguifugum</i> Mart.				+																																					
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.								+					+			+		+		+																		+			
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.				+		+		+	+		+		+			+		+	+	+	+				+	+	+	+										+			
<i>Erythroxylum engleri</i> O.E. Schulz			+											+			+		+																		+		+	+	
<i>Erythroxylum</i> sp.1	+																																								
<i>Erythroxylum</i> sp.2									+																																
<i>Erythroxylum</i> sp.3													+																												
<i>Erythroxylum</i> sp.4																																								+	
<i>Erythroxylum</i> sp.5																																								+	
<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil.	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	+	+	+		+	+				+							+	+	+	+	+	+	+				+										+	+	+	+	
Euphorbiaceae																																									
<i>Alchornea glandulosa</i> Poit. & Baill.																																								+	
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.																																								+	
<i>Manihot</i> sp.																																							+		
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.				+																																				+	
<i>Sapium argutum</i> (Müll. Arg.) Huber																																								+	
Fabaceae																																									
<i>Anadenanthera</i> sp.																																								+	
<i>Andira cujabensis</i> Benth.				+				+					+			+	+		+		+																+	+	+	+	

Famílias/Espécies	Cerrado Rupestre																Cerrado Típico															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6
<i>Andira vermifuga</i> Mart. ex Benth.	+		+	+	+	+		+	+	+		+	+		+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Bauhinia platyphylla</i> Benth.																								+								
<i>Bauhinia pulchella</i> Benth.	+																															
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	
<i>Cenostigma tocantinum</i> Ducke																															+	
<i>Chamaecrista orbiculata</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby	+			+	+				+	+	+		+				+		+	+									+	+		
<i>Chamaecrista pachyclada</i> (Harms) H.S. Irwin & Barneby	+					+																	+									
<i>Chamaecrista</i> sp.1				+																												
<i>Chamaecrista</i> sp.2										+																						
<i>Copaifera coriacea</i> Mart.												+																	+			
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.		+			+		+			+			+	+		+										+						
<i>Copaifera oblongifolia</i> Mart. ex Hayne	+			+																												
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.		+	+		+			+	+		+							+	+		+		+	+	+		+	+			+	
<i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul.													+													+		+				
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.		+		+	+	+		+	+			+				+		+	+	+		+	+	+		+			+	+	+	
<i>Dipteryx alata</i> Vogel		+										+	+			+		+					+					+				
<i>Diptychandra aurantiaca</i> Tul.																								+								
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F. Macbr.																+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+				
<i>Hymenaea courbaril</i> L.												+																				
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel		+	+	+	+	+		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+	
<i>Leptolobium</i> sp.										+														+								

Famílias/Espécies	Cerrado Rupestre												Cerrado Típico																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	
<i>Luetzelburgia praecox</i> (Harms ex Kuntze) Harms		+		+								+			+			+											
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel							+	+				+			+				+	+	+	+			+		+	+	+
<i>Machaerium opacum</i> Vogel				+	+			+		+	+					+	+			+		+	+						
<i>Martiodendron mediterraneum</i> (Mart. ex Benth.) R.C. Koeppen																									+				
<i>Mimosa claussenii</i> Benth.	+				+			+		+					+				+										
<i>Mimosa decorticans</i> Barneby					+														+										
<i>Mimosa laticifera</i> Rizzini & A. Mattos		+														+				+									
<i>Mimosa manidea</i> Barneby	+																												
<i>Mimosa setosissima</i> Taub.												+									+					+			
<i>Mimosa</i> sp.																				+									
<i>Mimosa ulei</i> Taub.	+																												
<i>Peltogyne confertiflora</i> (Mart. ex Hayne) Benth.			+			+		+			+	+			+	+				+	+						+		+
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	+	+			+	+		+	+		+	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Platypodium elegans</i> Vogel						+						+																	
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel								+	+										+						+				
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.		+	+	+	+	+	+			+	+				+	+			+	+	+	+	+	+	+	+			+
<i>Senna velutina</i> (Vogel) H.S. Irwin & Barneby					+														+										
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville																+		+	+	+		+			+		+		
<i>Stryphnodendron coriaceum</i> Benth.																					+							+	
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> Mart.			+						+								+					+		+					

Famílias/Espécies	Cerrado Rupestre																Cerrado Típico																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.					+								+	+	+				+		+	+	+	+					+	+			
<i>Psidium myrsinites</i> Mart. ex DC.	+		+	+	+	+		+		+	+	+		+			+			+	+	+		+	+	+			+				
<i>Psidium salutare</i> (Kunth) O. Berg																													+				
<i>Siphoneugena densiflora</i> O. Berg					+								+																				
Nyctaginaceae																																	
<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. ex J.A. Schmidt) Lundell		+	+	+	+	+	+		+	+			+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+		
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell			+	+	+		+		+				+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Neea theifera</i> Oerst.									+																								
Ochnaceae																																	
<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.													+																				
<i>Ouratea glaucescens</i> Engl.	+			+																													
<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Baill.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
<i>Ouratea riedeliana</i> Engl.													+																				
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart. ex Engl.) Engl.		+					+	+	+		+	+	+		+		+				+		+		+		+				+		
Olacaceae																																	
<i>Chaunochiton kappleri</i> (Sagot ex Engl.) Ducke															+																		
<i>Heisteria ovata</i> Benth.		+									+	+	+		+		+									+			+		+		
Olacaceae NI																														+			
Opiliaceae																																	
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook. f.		+			+		+		+	+	+		+			+		+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Pentaphylacaceae																																	

Famílias/Espécies	Cerrado Rupestre																Cerrado Típico															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6
<i>Ternstroemia carnos</i> Cambess.	+																															
Polygonaceae																																
<i>Coccoloba mollis</i> Casar.																									+							
Primulaceae																																
<i>Cybianthus detergens</i> Mart.																																+
<i>Cybianthus gardneri</i> (A. DC.) G. Agostini	+																								+							
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	+				+				+				+			+									+	+				+		
Proteaceae																																
<i>Roupala montana</i> Aubl.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+									+	+	+	+	+	+	+	+
Rubiaceae																																
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.				+					+						+									+							+	
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.																									+							
<i>Chomelia ribesoides</i> Benth. ex A. Gray				+	+	+			+	+	+	+			+											+				+		
<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze				+	+																											
<i>Cordia elliptica</i> (Cham.) Kuntze					+		+		+					+																	+	
<i>Cordia sessilis</i> (Vell.) Kuntze		+	+							+		+			+									+	+							
<i>Duroia duckei</i> Huber																									+							
<i>Ferdinandusa elliptica</i> (Pohl) Pohl	+	+		+			+		+		+			+										+	+		+					
<i>Ferdinandusa</i> sp.														+																		
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltdl.																															+	
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	+		+	+		+		+	+		+		+		+									+	+	+	+			+		

