

YURIKO SUMIYO MURILLO DOMEN

**EFEITOS DOS FILTROS AMBIENTAIS NA
ESTRUTURA FILOGENETICA DE UM CERRADO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M997e
2018

Domen, Yuriko Sumiyo Murillo, 1988-

Efeitos dos filtros ambientais na estrutura filogenética de
um Cerrado / Yuriko Sumiyo Murillo Domen. – Viçosa, MG,
2018.

viii, 65 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: João Augusto Alves Meira Neto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Cerrados - Brasil. 2. Savanas. 3. Biodiversidade.
4. Filogenia. 5. Comunidades vegetais. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Biologia Vegetal. Programa de
Pós-Graduação em Botânica. II. Título.

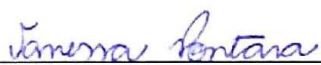
CDD 22. ed. 581.981

YURIKO SUMIYO MURILLO DOMEN

**EFEITOS DOS FILTROS AMBIENTAIS NA
ESTRUTURA FILOGENÉTICA DE UM CERRADO**

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

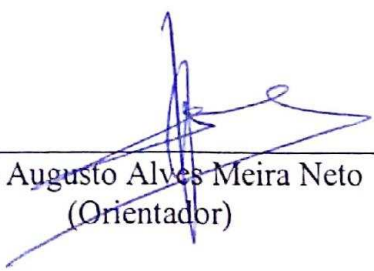
APROVADA: 27 de fevereiro de 2018.



Vanessa Pontara



Gláucia Soares Tolentino



João Augusto Alves Meira Neto
(Orientador)

Dedico,
A Scienitia Amabilis e a minha pequena família, que durante este tempo
juntos aprendemos muito a valorar tudo o que o destino
colocou em nosso caminho.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Elizabeth Domen e José Murillo, por tudo seu apoio nesta grande aventura, por tanto carinho e amor.

A Alexander Huamán Mera, por ser cúmplice e amigo, por entender, apoiar-me em este reto e por tanto amor.

A meu filho Akira, por ser a força que eu precisava, tanto amor e carinho em cada um dos meus dias, e por ser a fonte da minha inspiração

A meus irmão, por ser os melhores irmãos, nunca senti sua falta apesar da distância.

A meu orientador e Professor Joao Augusto Alves Meira Neto, por permitir-me esta grande oportunidade de estudar no LEEP, por cada um de seus conselhos, a paciência e confiança depositada em mi para desenvolver este trabalho, eu estou muito agradecida.

A minha co-orientadora, Glaucia Soares Tolentino pela disponibilidade para trabalhar comigo.

Ao programa de Pós-graduação em Botânica da UFV por esta grão oportunidade. Ao professores do programa, muito obriga pelo conhecimento compartilhado.

Ao companheiros de curso e do LEEP, Fernando, Écio, Helder, Michael, Genilson, Libia, Alice, Pedro, Larissa, Gustavo, Marcelo, Vanessa, Nil, Alex, Nayara, Miguel, Flavia, Izabela, Daniela, Prof. Andereza.

Ao técnico do LEEP, Celso Antônio, por estar sempre pronto a ajudar.

A meus melhores amigos, Karol, Gabriela, Maryuri e Jonathan que apesar da distância geográfica estiveram sempre para mim para ler e me-ouvir.

Ao professores da graduação, Leopoldo Vasquez Nuñez, Josefa Ecurra Puicon, Consuelo Rojas Idrogo e Guillermo Delgado Paredes, por seu apoio neste novo caminho, por a confiança e ensino, também à Universidade Nacional Pedro Ruiz Gallo.

A OEA (Organização dos Estados Americanos) pela oportunidade de continuar estudando e preparar-me profissionalmente.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPITULO I	6
SINAL FILOGENÉTICO E CONSERVANTISMO FILOGENÉTICO DE NICHOS	6
I. INTRODUÇÃO	6
II. MATERIAIS E MÉTODOS	9
2.1. Área de estudos	9
2.2. Sinal filogenético	11
2.3. Traços funcionais	12
2.4. Análise dos dados	13
III. RESULTADOS	15
3.1. Cálculo do sinal filogenético.....	15
3.2. Comparando métodos de cálculo do sinal filogenético.....	15
VI. DISCUSSÃO.....	24
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO II	39
ESTRUTURA FILOGENÉTICA DE ESPÉCIES LENHOSAS EM UM GRADIENTE FITOFISONÔMICO DE CERRADO	39
I. INTRODUÇÃO	39
II. MATERIAL E MÉTODOS	41
2.2. Áreas de Estudo	41
2.3. Coleta de dados	42
2.4. Análise dos dados	42
III. RESULTADOS	46
3.1. Caracterização das comunidades do Cerrado.....	46
3.2. Análise de ordenação entre as comunidades de Cerrado.....	46
3.3. Diversidade filogenética e Estrutura filogenética	47
3.4. Distância filogenética entre comunidades de Cerrado	49
3.5. Correlação de variáveis abióticas com a estrutura filogenética das comunidades do Cerrado	50
IV. DISCUSSÃO.....	53
V. CONCLUSÕES GERAIS	56
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

RESUMO

DOMEN, Yuriko Sumiyo Murillo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Efeitos dos filtros ambientais na estrutura filogenética de um Cerrado.** Orientador. João Augusto Alves Meira Neto.

O Cerrado Brasileiro é um dos biomas com uma alta diversidade de espécies vegetais, onde a distribuição das espécies estaria dependendo de características ambientais como solo e luz, cumprindo ao mesmo tempo a função de filtros ambientais que estariam reunindo espécies funcionalmente similares, levando a um agrupamento filogenético, e se os caracteres funcionais são conservados na evolução das linhagens das espécies (apresentam Sinal filogenético) os filtros ambientais seriam um processo ecológico predominante na concorrência de espécies, podendo-se inferir os mecanismos de coexistência de espécies por meio de análises de estrutura filogenética das comunidades. O objetivo principal deste trabalho foi testar se há estrutura filogenética em diferentes posições dos gradientes de solo e de luz e se características funcionais estariam sendo mais agrupados nas linhagens filogenéticas que ao acaso. Nosso estudo avaliou 165 espécies arbustivo-arbóreas de cinco comunidades do Cerrado. Para testar nossos pressupostos, temos dividido nosso estudo em dois capítulos e para o primeiro temos conduzido análises de Sinal filogenética com o pacote “PhyloSignal” para 3 métodos Morans' I, Cmean, e λ de Pagel (Lambda) para uma comparação com os resultados obtidos pelo índice K de Blomberg, o objetivo desse capítulo foi medir o sinal filogenético dos traços funcionais como altura de planta, largura foliar, tamanho de pecíolo, tamanho de fruto, tamanho de semente, a relação altura máxima de planta/diâmetro máximo de tronco, em relação com seis importantes fatores como são a tolerância ao alumínio, resposta a disponibilidade de recurso e capacidade fotossintética, suporte ao estresse hídrico, poder de dispersão-colonização e competitividade considerando o potencial de crescimento horizontal, encontrando como resultado conservantismo de traços relacionados com a resposta a disponibilidade de recurso e capacidade fotossintética (largura foliar), suporte ao estresse hídrico (comprimento y largura de pecíolo) e ao poder de dispersão (Comprimento e largura de fruto). No segundo capítulo nós avaliamos a estrutura filogenética em cada uma das 5 comunidades que foram estudadas, por meio dos índices MPD (Mean Phylogenetic Distance), MNTD (Mean Nearest Taxon Distance), NRI (Net Relatedness Index) e NTI

(Nearest Taxon Index), também a diversidade filogenética (PD). A análise de filobeta diversidade entre as comunidades estudadas utilizando o betaNRI e betaNTI foi realizado para calcular o *turnover* filogenético entre elas, logo foram feitas regressões dos teores de solo e abertura do dossel em função do NRI, modelo obtido pelo GLM (modelo lineal generalizado); os resultados indicaram a existência de maior diversidade filogenética para a comunidade Cerrado s.s. Denso sobre Latossolo Vermelho Amarelo, encontramos agrupamento filogenético significativo para duas comunidades o Cerrado s.s. sobre Cambissolo e para o Cerradão Mesotrófico, e as análises de distância filogenética mostraram baixo *turnover* entre as comunidades do Cerrado s.s. sobre Cambissolo e o Cerrado s.s. sobre Latossolo Amarelo, em conjunto os resultados sugerem conservação de nicho na comunidade de plantas relacionada ao solo, e o modelo obtido pelo GLM indicou que houve relação entre o NRI e magnésio, nitrogênio total e abertura do dossel e apresentou uma relação do alumínio e a matéria orgânica.

ABSTRACT

DOMEN, Yuriko Sumiyo Murillo, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Effects of environmental filters on the phylogenetic structure of a Cerrado.**
Adviser: João Augusto Meira Neto

The Brazilian Cerrado is one of the biomes with a high diversity of plants, where the distribution of the species would be depending on environmental factors such as soil and light, performing at the same time the function of environmental filters that would be clustering functionally similar species, leading to a phylogenetic clustering, and if the functional traits are conserved in the evolution of the lineages of the species (phylogenetic Sign) the environmental filters would be an ecological process predominant in the competition of species, being able to infer the mechanisms of coexistence of species by means of analyzes of phylogenetic structure of the communities. The main objective of this study was to test phylogenetic structure at different positions of soil and light gradients and if functional characteristics would be more clustered in phylogenetic lineages than at randomly change. We evaluated 165 shrub-tree species of five communities of Cerrado. To test our presumptions, we divided our study into two chapters and for the first one we carry out Phylogenetic signal analyses with the "Phylosignal" package for 3 methods Moran's' I, Cmean, and λ of Pagel (Lambda) for a comparison with the results obtained by the Bloomberg's K index, with the objective of measuring the phylogenetic signal of the functional traits such as height plant architecture, leaf width, petiole size, fruit size, seed size and the maximum height plant architecture/maximum trunk diameter ratio of, in relationship to six important factors such as aluminium tolerance, response to resource availability and photosynthetic capacity, support to stress tolerance, dispersion-colonization capacity and competitiveness considering the potential for horizontal growth, finding as a result conservatism of traits related to the response to resource availability and photosynthetic capacity (leaf width), support for water stress (petiole length and width) and dispersion capacity (fruit length and width). In the second chapter, we evaluated the phylogenetic structure in each of the 5 communities that were studied, using MPD (Mean Phylogenetic Distance), MNTD (Mean Nearest Taxon Distance), NRI (Net Relatedness Index) and NTI (Nearest Taxon Index), as well as phylogenetic diversity (PD). We conducted the analysis of phylobetadiversity among the studied communities using

betaNRI and betaNTI to calculate the phylogenetic *turnover* among them, then regressions of the soil contents and canopy opening were made according to the NRI, model obtained by GLM (Generalized Linear Model); the results indicated the existence of greater phylogenetic diversity for the Cerrado s.s. Denso on Yellow Red Latosol, we found significant phylogenetic clustering for two communities Cerrado s.s. on Cambissolo and for the Mesotrophic Cerradão, and phylogenetic distance analyzes showed low *turnover* among the communities of Cerrado s.s. on Cambissolo e o Cerrado s.s. on Yellow Latosol, together the results suggest niche conservation in the plant community related to soil, and the model obtained by GLM indicated that there was a relationship between NRI and magnesium, total nitrogen and canopy opening and presented a relationship between the aluminium and organic matter.

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é uma vegetação diferente das vegetações adjacentes (COUTINHO, 1978). Com alta riqueza e biodiversidade, apresenta fisionomias que variam desde campos, como campos limpos e campos sujos, até arvoredos, como o Cerradão (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Como o Cerrado ocorre em condições climáticas mésicas (MOTTA et al., 2002), a distribuição e funcionamento do ecossistema de Cerrado podem ser menos determinadas pelas variações de temperatura e pluviosidade. Assim, a grande heterogeneidade espacial do Cerrado, onde diversas fitofisionomias alternam-se na paisagem, está bastante ligada à variação dos solos e de suas características, como composição química, profundidade e tipo de drenagem (GOODLAND E POLLARD; 1973, MOTTA et al., 2002; RIBEIRO e WALTER, 2008). Em geral, ocorrem em solos antigos, distróficos, ácidos, com alto teor de alumínio trocável e retenção de água variável (GOODLAND E POLLARD, 1973; FURLEY e RATTER 1988, MOTTA et al., 2002; ASSIS et al 2011, TOLENTINO, 2015). Essas características de solo causam variação na abertura do dossel (TOLENTINO, 2011), de forma que a variação de luz é outro determinante da distribuição de espécies no Cerrado (TOLENTINO, 2015). Para o Cerrado brasileiro foram estabelecidas dois tipos de floresta, floresta distrófica caracterizada pela presença de leguminosas e uma floresta mesotrófica com presença de árvores que são tolerantes à seca (MEIRA-NETO et al., 2017).

A luz é um fator ecológico fundamental para a sobrevivência das plantas. Assim, as variações de luz e das características de solo no Cerrado são fundamentais para entendimento de seus gradientes. É possível que esses sejam os principais gradientes que as plantas têm experimentado durante sua evolução, e muito da morfologia, fisiologia e história de vida das plantas terrestres pode ser resultado de adaptações para obtenção desses recursos (TILMAN, 1988; PEREIRA, 2013).

Nos mecanismos de coexistência de espécies, os *trade-off* apresentam um papel importante na manutenção da diversidade de espécies em habitats heterogêneos (MULLER-LANDAU, 2010). Os *trade-offs* estariam relacionados com habilidades competitivas e tolerância ao estresse como origem de estratégias ecológicas que estruturam suas comunidades (MULLER-LANDAU, 2008).

Análises de atributos funcionais mostraram que plantas do Cerrado se distribuem por pelo menos três grupos funcionais distintos: espécies das formas savânicas do Cerrado, espécies indicadoras de florestas seca ocorrentes no Cerrado e espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio (TOLENTINO et al. inédito). A distinção de plantas em grupos funcionais revela um padrão consistente de resposta das plantas às variações ambientais (LAVOREL e GARNIER 2002), acrescentando evidências de que as características funcionais são a base de importantes mecanismos para a coexistência de diferentes estratégias ecológicas (RATNAM, et al 2008, SOUZA, et al 2011, TOLENTINO, 2015).

A heterogeneidade abiótica do Cerrado contribui para a coexistência de espécies, porque as espécies diferem em suas respostas ao ambiente (CHESSON, 2000; SNYDER e CHESSON; 2004, ADLER et al., 2013; KRAFT, 2014). Assim, o ambiente é uma força seletiva e as espécies são mais capazes de sobreviver em um determinado lugar onde as características ambientais são favoráveis à sua persistência. Espécies podem compartilhar características de tolerância abiótica ou de habilidade competitiva, formando grupos funcionais dentro das comunidades (KRAFT, 2014). Se as características funcionais de tolerância ou de habilidade competitiva estão mais conservadas em linhagens filogenéticas do que o esperado ao acaso (WEBB et al., 2002; GARLAND & IVES, 2003; KRAFT, 2014) e são mais similares funcionalmente (CAVENDER-BARES et al., 2004; LOSOS, 2008; PRINZING, et al., 2008; GASTAUER e MEIRA-NETO, 2015), pode-se dizer que os caracteres funcionais têm sinal filogenético e estruturam as comunidades.

Assim, espécies filogeneticamente mais próximas tendem a compartilhar caracteres que conferem adaptação a ambientes semelhantes (conservantismo de nicho). Consequentemente, variáveis ambientais que atuam como filtros ecológicos permitem apenas a presença de indivíduos com determinadas características e espera-se que causem estruturação filogenética da comunidade (MACARTHUR; LEVINS, 1967; SIMBERLOFF 1970; VAN DER VALK, 1981; WEIHER; KEDDY, 1995; WEBB, et al., 2002; CAVENDER-BARES et al., 2004; GASTAUER E MEIRA-NETO, 2015). O objetivo de este estudo é testar se há alteração da estrutura filogenética em função dos diferentes posições dos gradientes de solo e de luz e se características funcionais relacionadas ao *trade-off* competição-tolerância estão mais agrupadas nas linhagens filogenéticas que ao acaso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAROLOTO, C.; HARDY, O.; PAINE, C.; DEXTER, K.; CRUAUD, C.; DUNNING, L.; GONZALEZ, M.; MOLINO, J.; SABATIER, D.; SAVOLAINEN, V.; CHAVE, J. 2012. Using functional traits and phylogenetic trees to examine the assembly of tropical tree communities. *Journal of Ecology*, Vol. 100, 690-701 p.
- BLOMBERG, S. P.; GARLAND, T.; IVES, A. R. Testing for phylogenetic signal in comparative data: Behavioral traits are more labile. *Evolution*, St. Louis, v. 57, n. 4, p. 717-745, 2003.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biodiversidade brasileira: Avaliação e identificação de áreas prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404p.
- CARVALHO, G.; BATALHA, M.; SILVA, I.; CIANCIARUSO, M.; PETCHEY, O. 2014. Are fire, soil fertility and toxicity, water availability, plant functional diversity, and litter decomposition related in a Neotropical Savana? *Community ecology. Oecologia*, Springer.
- CIANCIARUSO, MV. Et al. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica*, Vol. 9, Nº3. 93-103 p.
- COUTINHO, L. 1978. O conceito de Cerrado. *Revista brasileira, Bot.I*:17-23.
- EMBRAPA, 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 412 p.
- GASTAUER M. & MEIRA-NETO J. A. A., 2016. An enhanced calibration a recently released megatree for the analysis of phylogenetic diversity, *Brazilian Journal of Biology*.
- GASTAUER, M. & MEIRA-NETO, J. 2013. Interactions, environmental supporting and chance: phylostructure of a tropical forest assembly. *Folia Geobotanica*. Springer.
- KEMBEL, S.; HUBBELL, S. 2006. The phylogenetic structure of a neotropical forest tree community. *Ecology*, 87(7) s87-s99 p.
- KRAFT, N.; CORNWELL, W.; WEBB, C.; ACKERLY, D. 2007. Trait evolution, community assembly, and the phylogenetic structure of Ecological Communities. *The America Naturalist*. Vol. 170, Nº2. 272-283 p.
- KRAFT, N.; ADLER, P.; GODOY, O.; JAMES, E.; FULLER, S.; LEVINE, L. 2015. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. *Functional Ecology. British Ecological Society*.
- LAURANCE, W.F.; OLIVEIRA, A.A.; LAURANCE, S.G.; CONDIT, R.; DICK, C.W.; ANDRADE, A.; NASCIMENTO, H.E.M.; LOVEJOY, T.E. & RIBEIRO, J.E.L.S. 2005. Altered tree communities in undisturbed Amazonian Forests: A consequence of Global Change? *Biotropica* 37(2): 160-162.
- MEIRA-NETO, J.; TOLENTINO G.; ALVES DA SILVA M.; NERI A.; GASTAUER M.; MAGNAGO L.; YUSTE J.; VALLADARES F. 2016. Functional antagonism

between nitrogen-fixing leguminous tree and calcicole-drought-tolerant trees in the Cerrado. *Acta Botanica Brasilica*. doi: 10.1590/0102-33062016abb0380.

MOTTA, P.E.F.; CURI N. & FRANZMEIER D.P. 2002. Relation of soil and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. Pp. 13-32. In: Oliveira, PS & Marquis, RJ. *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savana*. New York, Columbia University Press, cap. 2, p.13-32.

MULLER-LANDAU H. C. 2008. Colonization-related trade-offs in tropical forests and their role in the maintenance of plant species diversity. In: *Tropical forest community ecology* pp. 182–195 Blackwell Publishing, Chichester.

MULLER-LANDAU H. C. 2010 The tolerance–fecundity trade-off and the maintenance of diversity in seed size. *Proc Natl Acad Sci U S A* 107, 4242–4247.

NERI, A.V. 2007. Gradiente pedológico-vegetacional de Cerrado em Paraopeba, MG. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 125p.

PEREIRA, P.S. 2012. Influência de fatores abióticos na diversidade de espécies do estrato herbáceo-subarbustivo em cerrado, Flona de Paraopeba, MG. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 85 p.

PYRON, A. R.; COSTA G.; PATTEN M.; BURBRINK F. 2014. Phylogenetic niche conservatism and the evolutionary basis of ecological speciation. *Biological Reviews*. Cambridge Philosophical Society.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa, 2008. p.151-212.

RIZZINI, C.T. 1992. *Tratado de Fitogeografia do Brasil*. (2ª ed.). Rio de Janeiro: Âmbito Cultural.

SILVA JÚNIOR, M.C. 1984. Composição florística, estrutura e parâmetros fitossociológicos do cerrado e sua relação com o solo na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba-MG. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 130p.

SOUZA, V.C. & LORENZI, H. 2005. *Botânica Sistemática guia ilustrado para identificação das Famílias de Angiospermas da Flora Brasileira, baseado em APG II*. Nova Odesa, Instituto Plantarum.

SUNDARAM, B. & PARTHASARATHY, N., 2002. Tree growth, mortality and recruitment in four tropical wet evergreen forest sites of Kolli hills, Eastern Ghats, India. *Tropical Ecology* 43(2): 275-286.

TOLENTINO SOARES G. 2011. Composição e partição de nicho em gradientes de solo e luz no Cerrado. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 80 p.

TOLENTINO SOARES G. 2015. Grupos funcionais, uso dos recursos e diversidade funcional de plantas lenhosas no Cerrado. Dissertação (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 69 p.

WEBB CAMPBELL O. 2000. Exploring the phylogenetic Structure of Ecological Communities: An example for Rain Forest Trees. *The America Naturalist*. Vol. 156 N°2. 145-155 p.

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK M. A.; DONOGHUE M. J. Phylogenies and community ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v. 33, n. 1, p. 475-505, 2002.

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D. & KEMBEL, S. W. 2008. PHYLOCOM: software for the analysis of community phylogenetic structure and trait evolution. *Bioinformatics* 24: 2098-2100. Version 4,1 [Online] disponível em <http://www.phylodiversity.net/phylocom/>. Accessed: Novembro 19, 2016.

CAPITULO I

SINAL FILOGENÉTICO E CONSERVANTISMO FILOGENÉTICO DE NICHOS

I. INTRODUÇÃO

Compreender os processos de montagem e a estruturação de comunidades vegetais é um dos grandes temas da ecologia, com implicações na conservação e gestão de ecossistemas. Por isso, as mudanças nas características fenotípicas ao longo de um gradiente ambiental ajudariam a entender os processos que estão acontecendo na organização ou estruturação das comunidades (PESCADOR et al., 2015). Dois processos têm sido relacionados com a estruturação de comunidades ecológicas. Um deles é a exclusão competitiva e o outro é a filtragem ambiental (WEBB et al., 2002). O primeiro processo considera que espécies semelhantes estão impedidas de coexistir. O segundo causa um agrupamento de traços onde caracteres morfológicos ou fisiológicos são filtrados. Se estes traços são conservados nas linhagens, existirá um sinal filogenético positivo, onde as espécies filtradas seriam estreitamente relacionadas (EMERSOR e GUILLESPIE, 2008; BATALHA et al. 2011) assim como as espécies competidoras que excluem competitivamente espécies mais proximamente relacionadas filogeneticamente (CARRIÓN et al. 2017).

As estratégias das plantas e os tipos funcionais podem ser definidos como grupo de espécies de plantas que compartilham um funcionamento semelhante como resposta a fatores ambientais num ecossistema ou bioma (LAVOREL & GARNIER, 2002; CORNELISEN, 2003). Essas semelhanças estão baseadas no fato de que as espécies tendem a compartilhar um conjunto de traços funcionais chaves (THOMPSON et al., 1996; GRIME et al., 1997; CORNELISEN et al., 2001).

Os traços funcionais das espécies do Cerrado estão sendo bem estudados, e está demonstrado que os gradientes de solo e luz causam alterações na funcionalidade do ecossistema do Cerrado (TOLENTINO, 2015). A influência do fogo na estruturação ou distribuição de espécies no Cerrado se dá por meio de atributos funcionais e filogenéticos das plantas e demonstra que suas comunidades são governadas por esse distúrbio, o fogo (DANTAS et al., 2013). Trabalhos como os de Hoffman et al. (2005), comparando

traços de folhas entre espécies nativas de savanas e as espécies florestais do Brasil Central, encontraram valores maiores de área foliar específica (SLA, do inglês *specific leaf area*) nas espécies florestais, enquanto as espécies de savana tiveram maiores valores relativos de carbono (C), indicando deficiência nutricional e uso eficiente de água no ambiente savânico (HOFFMAN et al., 2005). Tolentino (2015) indicou a existência de três grupos funcionais para um fragmento do Cerrado com cinco diferentes tipos de solo, através da avaliação dos traços funcionais, foram delimitados os grupos das (i) espécies resistentes ao alumínio relacionadas aos solos ácidos com baixo teor de nutrientes, (ii) espécies de Cerradão ou floresta seca, associadas aos solos com condições nutricionais mais favoráveis ao crescimento e (iii) espécies fixadoras de nitrogênio.

Para se construir uma predição sobre os processos de montagem de comunidades, a abordagem dos traços funcionais pode ser complementada pelo estudo das relações filogenéticas entre as espécies (BARALOTO et al., 2012). Sob esta premissa, Batalha et al. (2011) encontrou como resultado um agrupamento de traços nas espécies lenhosas do Cerrado em solos pobres em nutrientes. Recentemente Miatto et al. (2017) realizaram análises do sinal filogenético para os traços relacionados a diferentes estratégias ecológicas como o uso de recurso, competitividade, vigor ou tolerância ao estresse nas espécies de savânicas e florestais do Cerrado, e não foram encontrados sinais filogenéticos para quaisquer traços das espécies, o que impediu conhecer os processos de estruturação e manutenção de Cerrado. Isso demonstra que os traços funcionais possibilitam entender como as espécies vegetais conseguem se estabelecer no Cerrado, mostrando características fenotípicas que lhes permite a permanência e portanto também permite sua evolução nos mais variados ambientes (TROVÃO et al., 2007). Estudos desta natureza demonstram como os traços funcionais cumprem um papel importante na coexistência de espécies e na estrutura de comunidades (RICHARDSON et al., 2013). Esta interação entre processos ecológicos e evolutivos pode gerar padrões de diversidade, padrões de distribuição e de abundância de espécies. Além disso, há um crescente reconhecimento de que as espécies evoluem dentro das comunidades e que estas interações estariam influenciando o processo evolutivo (ANTONOVICS 1992, NEUHAUSER et al. 2003, WHITHAM et al. 2003). Da mesma maneira, estamos cada vez mais conscientes de que a forma de como os traços evoluem dentro das linhagens influenciam a distribuição e montagem das espécies nas

comunidades (MCPEEK 1996, WEBB et al. 2002, ACKERLY 2003, CHAZDON et al. 2003, CAVENDER- BARES et al. 2006).

O sinal filogenético é um fornecedor de informações do processo ou velocidade evolutiva (MÜNKEMÜLLER et al., 2012), e é aplicado como um parâmetro para verificar os traços funcionais das espécies que são conservados dentro das linhagens evolutivas (BLOMBERG et al. 2003; LOSOS 2008; MÜNKEMÜLLER et al. 2012). Estes padrões de coexistência de espécies podem depender de como as interações bióticas e a filtragem ambiental atuam sobre as escalas ecológicas e evolutivas (WEBB et al. 2002). Pode ser que o nicho habitável que cria um padrão de conservantismo de nicho filogenético seja resultado de um *trade-off* necessário para proteger funções vitais contra extremos ambientais (CRISP & COOK, 2012).

Análises filogenéticas da estrutura de comunidades muitas vezes assumem que os traços intimamente associados à história de vida vegetal (crescimento, estratégias de reprodução, etc.) e interações ecológicas são filogeneticamente conservadas (TOTTIS e SILVERTOWN 2000, CAVENDER-BARES et al. 2006). Contudo, é importante evitar premissas e comprovar factualmente se existe ou não conservantismo de traços e de nichos entre as espécies filogeneticamente relacionadas numa comunidade. Neste trabalho teve como objetivo medir o sinal filogenético dos traços funcionais como altura, largura foliar, tamanho de pecíolo, tamanho de fruto, tamanho de semente, altura máxima/diâmetro máximo das espécies das cinco comunidades do Cerrado, relacionadas com seis importantes fatores como são a tolerância ao alumínio, resposta à disponibilidade de recurso e capacidade fotossintética, suporte ao estresse hídrico, poder de dispersão-colonização e competitividade considerando o potencial de crescimento horizontal. Os traços relacionados com a altura máxima da planta, estão intimamente relacionados com a capacidade competitiva da espécie, e constituem o *trade-off* importante entre altura da planta e a tolerância ou a prevenção do estresse do meio ambiente. A largura foliar apresenta relação com a disponibilidade de recursos, de maneira que a maior disponibilidade de luz, maior taxa de evapotranspiração e maior custo energético nutricional (CORNELISSEM, 2003; POORTER et al., 2008), restringem um investimento maior em área foliar, o não seria uma boa estratégia em ambientes com alta incidência de luz (CORNELISSEN, 2003). O tamanho de pecíolo mostra a capacidade de suporte hidráulico da folha quando há mais água no ambiente, aumentando a eficiência fotossintética (PORTER et al. 2009); o tamanho de fruto e

semente, mostra a capacidade de dispersão e colonização de um indivíduo em outros locais. As sementes e frutos maiores possuem mais reservas que as possibilitariam estabelecimento em ambientes de pouca luz (LEISHMAN et al., 2000; TIFFNEY, 2004; KUHLMANN, 2016). A relação entre altura máxima/diâmetro máximo representa a razão entre competitividade e o crescimento horizontal.

Existem diferenças nas características fenotípicas entre espécies de ecossistemas savânicos e florestais, pois as espécies florestais crescem com maior rapidez em locais com maior fertilidade do solo e onde o principal fator limitante é a luz. Em solos com déficit nutricional as espécies apresentam um menor ritmo de crescimento de plantas lenhosas geralmente possuem folhas esclerófilas (DWYER et al., 2014), as espécies savânicas estão caracterizadas por selecionar espécies com baixa altura, baixa área foliar específica e altas razões de C/N nas folhas (HOFFMAN et al, 2005).

Se existirem sinais filogenéticos, os traços estariam conservados na filogenia por efeito da seleção de traços funcionais em espécies ancestrais causada por condições ambientais persistentes nesses ambientes. Para este trabalho postulamos as seguintes perguntas: I. Existe sinal filogenético para nos traços funcionais nas espécies lenhosas do Cerrado? II. Os traços de tolerância e competição estariam filogeneticamente agrupados? III. As espécies filogeneticamente mais relacionadas apresentam maior similaridade nos traços funcionais?

II. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudos

A área de estudo, Floresta Nacional (FLONA) de Paraopeba (19°20' S e 44°20' W), está situada no município de Paraopeba, Estado de Minas Gerais, distando 90 Km da capital Belo Horizonte e com altitude variando de 734 m ao Sul a 750 m ao Norte. A FLONA é uma unidade de conservação sob responsabilidade do ICMBio e abrange uma área de 200 ha, dos quais 150 ha são de Cerrado, onde as fitofisionomias variam desde cerrado *stricto sensu* (formas savânicas) a cerradões (“woodlands”), e os 50 ha restantes destinados à experimentação florestal (ICMBio s.d.). A FLONA de Paraopeba se encontra em regeneração desde 1952, com registros de fogo nos anos 1960 e 1963, tendo sido desde então protegida de queimadas. Por esse motivo a influência do fogo não foi incluída em nossas análises (NERI et al. 2012; TOLENTINO, 2015).

O clima é definido como tropical úmido (AW) segundo a classificação de Köppen, com verões chuvosos e estação seca ocorrendo entre os meses de abril a setembro. A temperatura média anual oscila entre 20°C e 22 °C, com uma precipitação de 1328mm aproximadamente. Os solos de Cerrado da Floresta Nacional de Paraopeba foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo e Cambissolo (EMBRAPA 1999). Na área da FLONA Paraopeba há grande variação de fertilidade, onde a disponibilidade de Al³⁺ se dá desde a ausência até os 3.47 cmolc. dm⁻³. A abertura do dossel também foi bastante variável de 6.6% a 52% (média de 20,4% ± 13,52) (TOLENTINO, 2015). Conforme a Figura 1, o gradiente pedológico-vegetacional se dá da seguinte maneira (Figura 1).

- Cerrado *Stricto Sensu* sobre Cambissolo
- Cerrado *Stricto Sensu* sobre Latossolo Amarelo
- Cerrado *Stricto Sensu* denso sobre Latossolo Vermelho Amarelo
- Cerradão Distrófico sobre Latossolo Vermelho
- Cerradão Mesotrófico sobre Latossolo Vermelho

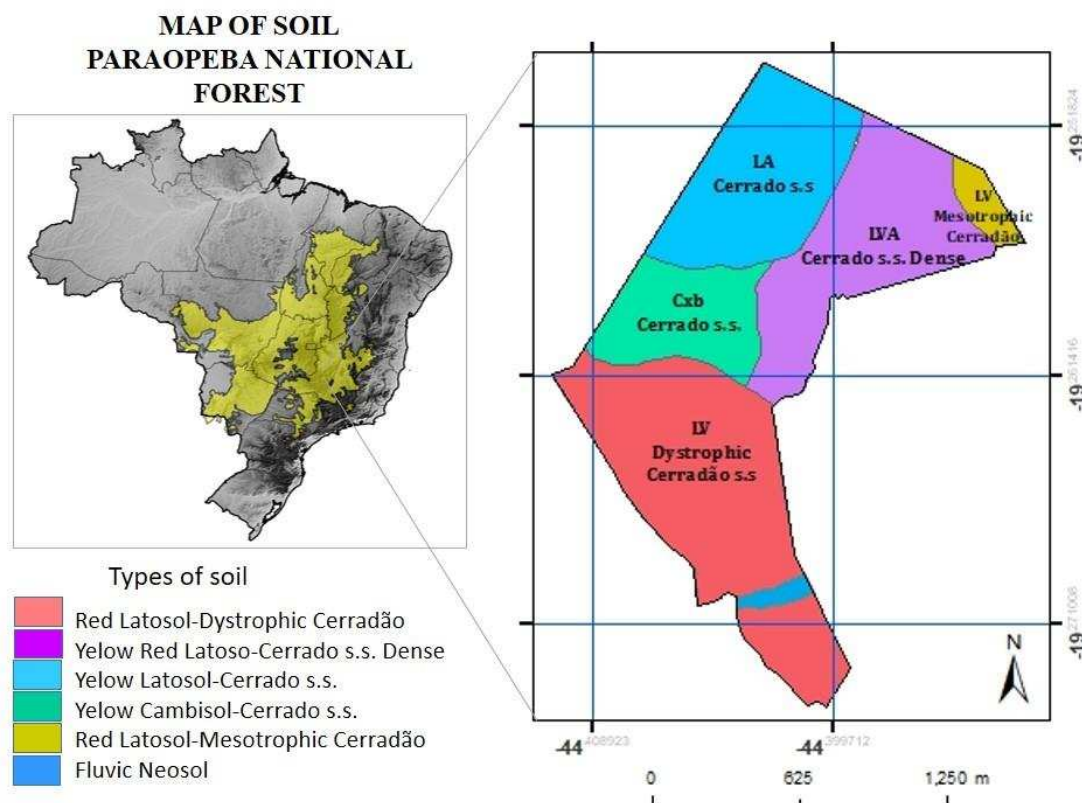


Figura 1. FLONA de Paraopeba, Minas Gerais: distribuição das fitofisionomias de Cerrado nos diferentes tipos de solo. Adaptado de Neri et al. (2012).

2.2. Sinal filogenético

Para medir o sinal filogenético para conhecer a montagem ou estruturação de comunidades ou como um indicativo de conservantismo de traços funcionais ao longo de linhagens evolutivas, foi utilizado o pool de espécies do estrato arbóreo-arbustivo amostradas em parcelas de 20x20m, de cada uma das 5 categorias de solo, além disso coletaram-se dados de traços funcionais que consideramos relevantes para o processo de montagem relacionados ao vigor, competitividade, fecundidade e evasão de estresse, capacidade fotossintética, energia das folhas, balanço hídrico, resposta à disponibilidade de recurso, poder de dispersão e potencial de estabelecimento. Estes traços foram: altura, largura foliar, tamanho do fruto, tamanho de semente e a relação entre Altura máxima/ diâmetro máximo para cada indivíduo. (Material suplementar S1).

O teste do sinal filogenético foi realizado pelo teste K de Blomberg, em que o grau de agrupamento entre os parentes relacionados se dá a partir da evolução do caráter

através do modelo de movimento browniano. Neste método K é a razão de dois erros quadrados médios, onde MSE₀ é calculado como o erro médio quadrado médio a partir da media filogenética e MSE é o erro médio quadrado da média filogenética após da primeira correção da falta de dependência filogenética, assumindo o movimento Browniano (BLOMBERG; GARLAND; IVES, 2003).

$$K = \frac{\text{observed} \frac{MSE_0}{MSE}}{\text{Expected} \frac{MSE_0}{MSE}}$$

Um valor de K=0 representa falta de sinal filogenético; K>1 significa que as linhagens estreitamente relacionadas são mais parecidas do que o esperado pelo movimento browniano (existência de sinal filogenético), e os traços estariam sendo conservados dentro das linhagens filogenéticas (BLOMBERG; GARLAND; IVES, 2003) e que causariam agrupamento sob efeito de filtragem abiótica (WEBB et al. 2002). Se, K<1, as linhagens estreitamente relacionadas são mais diferentes ou distantes funcionalmente do que o previsto sobre pelo modelo de movimento browniano, indicando sobredispersão.

O teste de Blomberg's K foi realizado com o pacote “picante” a través da função “phylosignal” (KEMBEL, 2008; KEMBEL et al., 2010). Para obter a significância estatística de K utilizamos 10.000 aleatorizações, sendo a significância dos p-valores a comparação da variância dos contrastes independentes padronizados para os valores de ponta com as variâncias randomizadas (KEMBEL et al., 2010).

2.3. Traços funcionais

Os atributos funcionais, foram considerados para as 165 espécies arbóreo-arbustivas encontradas nas comunidades, sendo avaliados nove traços funcionais considerados críticos para as plantas: altura máxima, altura máxima/ diâmetro máximo, largura foliar, tamanho (comprimento e largura) de pecíolo, tamanho (comprimento e largura) de fruto e tamanho (comprimento e largura) de semente. Foi medido o diâmetro foliar como proxy da área foliar específica (SLA), comprimento e largura de pecíolo, fruto e semente, foram analisadas 5 exsicatas para cada espécie para obter uma média das medidas requeridas. Adicionalmente, para as espécies que não tiveram os frutos achados, foi consultada literatura especializada para obtenção das medidas.

O levantamento de dados de Altura e Altura máximo/Diâmetro máximo foram obtidos por meio do banco de dados de TOLENTINO (2015). Os dados morfométricos de largura foliar foram definidos conforme ao proposto por (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al. 2013). Os dados de tamanho de pecíolo, fruto e de semente foram determinados pela consulta a excicatas digitalizadas disponibilizada usando a base de dados de herbarios (excicatas) on line: The New York Botanical Garden <https://www.nybg.org/>, Herbário VIC <http://splink.cria.org.br/>, Royal Botanical Garden Kew <https://www.kew.org/>, Missouri Botanical Garden Tropicos <http://www.tropicos.org/>, Species Link <http://splink.cria.org.br/>. As médias aritméticas dos traços funcionais de cada espécie pode ser observadas na (Apêndice S1) Material suplementar.

Tabela 1. Traços funcionais

Traço funcional	Unidades	Relevância/relação
Altura máxima (H)	m	Vigor, competitividade, fecundidade e evasão de estresse.
Largura foliar (LA)	cm	Balanço hídrico e energético das folhas, resposta a disponibilidade de recurso.
Tamanho do pecíolo (SP)	mm	Suporte hidráulico foliar.
Tamanho do fruto (SF)	mm	Poder de dispersão, colonização e competitividade.
Tamanho da semente (SS)	mm	Poder de dispersão, colonização e competitividade.
Altura máximo/Diâmetro máximo (Hm/Dm)	cm	Expressa a competitividade considerando o potencial de crescimento horizontal e vertical

2.4. Análise dos dados

Para a análise de sinal filogenética nós construímos uma matriz numérica com os dados dos traços para cada uma das 165 espécies. Para a análise de Sinal filogenético foi necessária a árvore filogenética obtida pelo *software* PHYLOCOM 4.2. (WEBB et al. 2008) com a mega árvore R20160415.new de 2017, calibrada usando-se o arquivo

age fornecido por GASTAUER e MEIRA-NETO (2017). Esta análise foi feita formassem duas etapas. Em uma delas mediu-se o sinal filogenético para cada uma das comunidades (associação entre solo e fitofisionomia) com suas respectivas espécies, enquanto na outra consideramos a metacomunidade, sem distinção de tipo de solo, para observar se a escala tem influência na medida de sinal filogenético.

Adicionalmente foram realizadas análises do sinal filogenético através de outros três métodos, para fins de comparação com os resultados do teste K de Blomberg. Os métodos utilizados foram o índice I de Moran (GITTLEMAN AND KOT, 1990; MORAN, 1950) e o Teste de Abouheif Cmean (ABOUHEIF 1999), que são índices de autocorrelação e não são baseados em um modelo evolutivo, além do λ de Pagel (PAGEL, 1999) que, assim como o teste K de Blomberg assume que a evolução de traços segue o modelo de movimento browniano (MÜNKEMÜLLER, 2012).

O índice I de Moran (GITTLEMAN & KOT, 1990; MORAN, 1950) mede a autocorrelação existente entre as espécies, de maneira que os valores positivos indicam correlação positiva entre a proximidade filogenética e a similaridade de traços funcionais das espécies. Valores negativos indicam que as espécies mais aparentadas tendem a ser mais diferentes em traços funcionais, sendo o 0 (zero) a ausência de autocorrelação.

O Teste de Abouheif, também conhecido como estatística de Cmean, é calculado como I de Moran, medindo a originalidade de espécies.

O λ de Pagel é estimado por máxima verossimilhança, pois considera o comprimento dos ramos da árvore filogenética comparado à verossimilhança de um valor hipotético e calcula o sinal filogenético gerando valores de 0 a 1 onde os valores $\lambda=1$ significam estrutura filogenética como o esperado pelo movimento browniano, $\lambda=0$ significa ausência de sinal filogenética e λ entre 0 e 1 indica menor sinal filogenético do que o esperado pelo modelo do movimento browniano (PAGEL, 2002).

III. RESULTADOS

3.1. Cálculo do sinal filogenético

A análise de sinal filogenético feita pelo teste de Blomberg's K mostrou que dos nove traços avaliados para a metacomunidade, cinco foram estatisticamente significativos entre as espécies - largura foliar, comprimento do pecíolo, largura de pecíolo, comprimento de fruto e largura do fruto, com K próximos a 1 (um) ou $K > 1$ indicando que as linhagens estreitamente relacionadas são mais parecidas do que o esperado pelo movimento browniano, demonstrando que existe uma conservação de traços, estes traços foram: largura foliar, comprimento do pecíolo, largura de pecíolo, comprimento do fruto e largura do fruto. A altura máxima e o comprimento da semente apresentaram valores de $K < 1$ e indicam que as linhagens estreitamente relacionadas são mais distantes do que o esperado pelo movimento browniano. A razão H_{max}/D_{max} e a largura da semente apresentaram valores de K não significativos (Tabela 1).

O Teste K de Blomberg realizado para cada uma das diferentes comunidades, o sinal filogenético foi parecido com os resultados obtidos para a metacomunidade. Para as cinco comunidades foram encontrados valores de K significativos (i.e. próximos a um e $K > 1$), para o traço de largura foliar.

3.2. Comparando métodos de cálculo do sinal filogenético

Na comparação entre os métodos de estudo do sinal filogenético, os resultados forma semelhantes entre o teste de I de Moran e o teste de Abouheif, onde ambos resultaram em valores positivos para a altura máxima, diâmetro foliar, tamanho do fruto e tamanho da semente (Tabela 2). Nestes teste os valores maiores que 0 indicam que as espécies estreitamente relacionadas são mais semelhantes em relação aos traços funcionais estudados, e mostrou valores não significativos. Para os traços de Altura máxima /Diâmetro máximo (H_{max}/D_{max}) e largura de semente foram encontrados valores não significativos. Os resultados do λ de Pagel indicaram que os traços estariam seguindo um modelo de evolução browniano, em outras palavras o que indica a existência de sinal filogenético para todos os traços funcionais (Tabela 1). Comparando estes métodos com o índice K de Blomberg encontramos diferenças, uma vez que com o índice K encontramos sinal filogenético apenas para cinco traços morfométricos.

Segundo os resultados obtidos pelo índice K de Blomberg, os traços que foram melhor conservados através da filogenia foram os relacionados à capacidade fotossintética, captação da luz e poder de dispersão.

Tabela 1. O teste de sinal filogenético pelo índice K de Blomberg testados para os traços funcionais de diâmetro de folha, tamanho de pecíolo, tamanho de fruto, tamanho de semente, altura máxima e a relação altura máxima/diâmetro máximo, para um pool de 165 espécies distribuídas nas cinco comunidades do cerrado da FLONA de Paraopeba, Cerradão distrófico (CD), Cerradão Mesotrófico (CM), Cerrado s.s. (Cxb), Cerrado s.s. (LA), Cerrado s.s. denso (LVA), PL=Comprimento de pecíolo, PW=Largura de pecíolo, FL=Comprimento de fruto, FW=Largura de fruto, SL=Comprimento da semente, SW=largura da semente, Hmax=Altura máxima, Hmax/Dmax=Altura máxima/Diâmetro máximo, K= índice K de Blomberg e P= nível de significância (≤ 0.05).

Comunidades	Nº Especies	Diâmetro foliar		Tamanho de pecíolo				Tamanho do fruto				Tamanho da sementa				Hmax		Hmax/ Dmax	
				PL		PW		FL		FW		SL		SW					
		K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P
CD	97	1.008	0.001	1.283	0.001	1.471	0.003	1.160	0.001	1.000	0.001	0.781	0.001	0.568	0.402	0.743	0.011	0.501	0.649
CM	98	0.952	0.001	1.313	0.001	1.194	0.023	1.376	0.001	0.598	0.027	0.767	0.001	0.536	0.383	0.516	0.378	0.487	0.521
Cxb	120	0.957	0.001	1.324	0.001	1.597	0.001	0.997	0.001	0.939	0.001	0.730	0.001	0.699	0.47	0.560	0.02	0.389	0.919
LA	73	0.824	0.002	0.890	0.012	0.649	0.16	0.797	0.004	0.805	0.027	0.833	0.001	0.745	0.001	0.647	0.013	0.383	0.938
LVA	109	1.031	0.001	1.297	0.001	1.583	0.003	1.174	0.001	0.864	0.003	0.622	0.05	0.585	0.284	0.723	0.001	0.477	0.67
Metacomunidade	165	0.926	0.001	1.297	0.001	1.715	0.001	1.233	0.001	1.048	0.001	0.725	0.001	0.556	0.159	0.569	0.008	0.429	0.68

Tabela 2. Quatro diferentes métodos para calcular o sinal filogenético Cmean (Abouheif), I (I Moran), K (Blombergs`K) e Lambda (Pagel`s λ) para nove traços obtidos para as 165 espécies presentes nas cinco comunidades do Cerrado da Flona Paraopeba, minas Gerais, *p* (significância a 0.05).

Métodos do Sinal filogenético								
Traço	Cmean	<i>p</i>	I	<i>p</i>	K	<i>p</i>	Lambda	<i>p</i>
Hmax	0.1316	0.0031	0.0020	0.0021	0.5692	0.0051	0.9993	0.0000
Hmax/Dmax	-0.0210	0.6092	-0.0052	0.2723	0.4290	0.6699	0.9977	0.0000
Leaf Width	0.2576	0.0000	0.0086	0.0000	0.9260	0.0001	1.0005	0.0000
Petiole length	0.1462	0.0088	0.0013	0.0098	1.2972	0.0001	1.0003	0.0000
Petiole width	-0.0067	0.4250	-0.0054	0.2239	1.7157	0.0012	0.9992	0.0000
Fruit Length	0.6071	0.0000	0.0318	0.0000	1.2331	0.0000	0.9999	0.0000
Fruit Width	0.4157	0.0000	0.0070	0.0005	1.0480	0.0001	1.0003	0.0000
Seed Length	0.2934	0.0000	0.0091	0.0000	0.7251	0.0000	1.0000	0.0000
Seed width	0.1594	0.0040	0.0026	0.0031	0.5564	0.1124	1.0022	0.0000

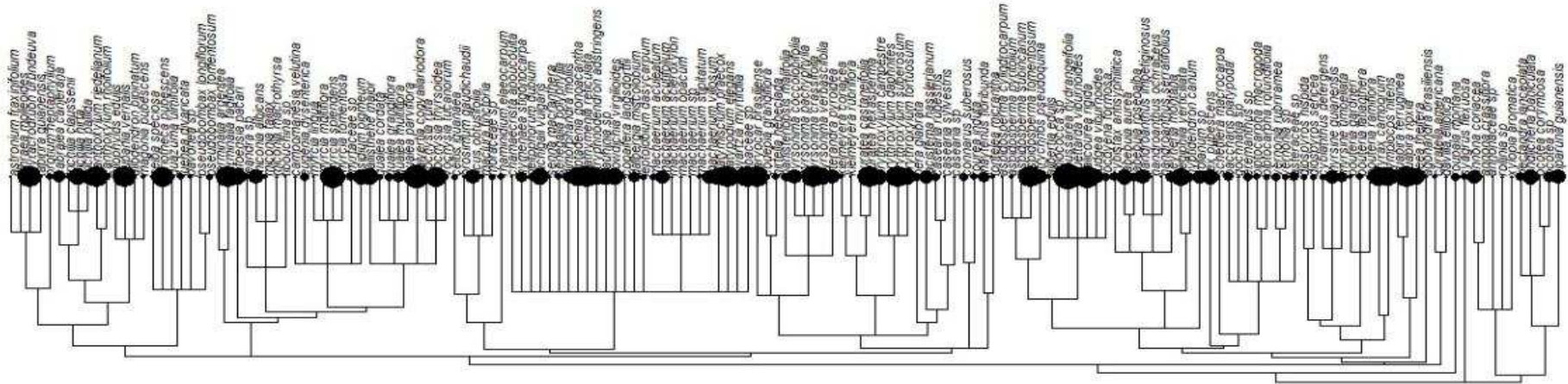


Figura 2. Distribuição dos valores de altura máxima ao longo da árvore filogenética de 165 espécies do cerrado da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

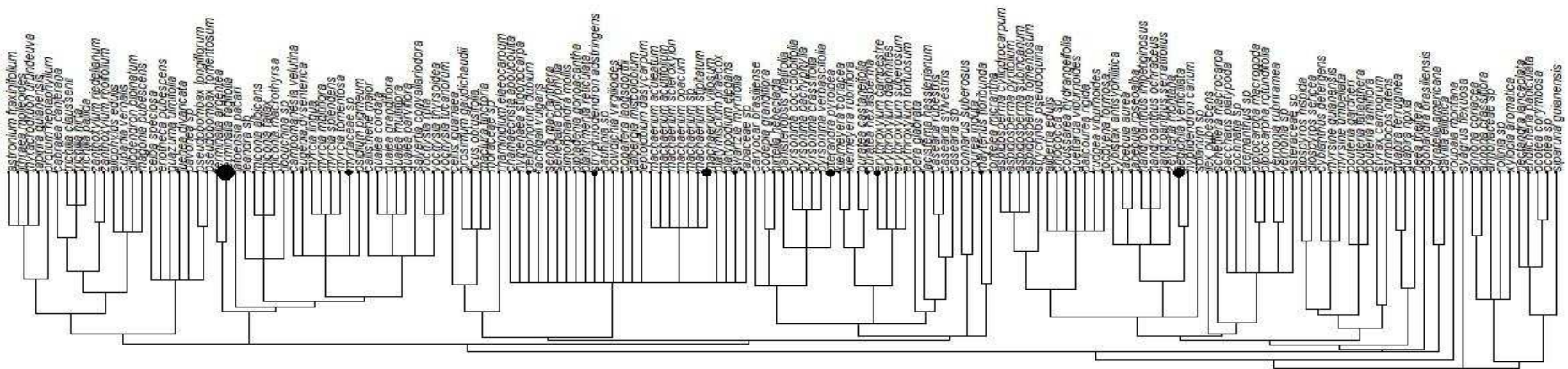


Figura 3. Distribuição dos valores de Altura máxima/Diâmetro máximo ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

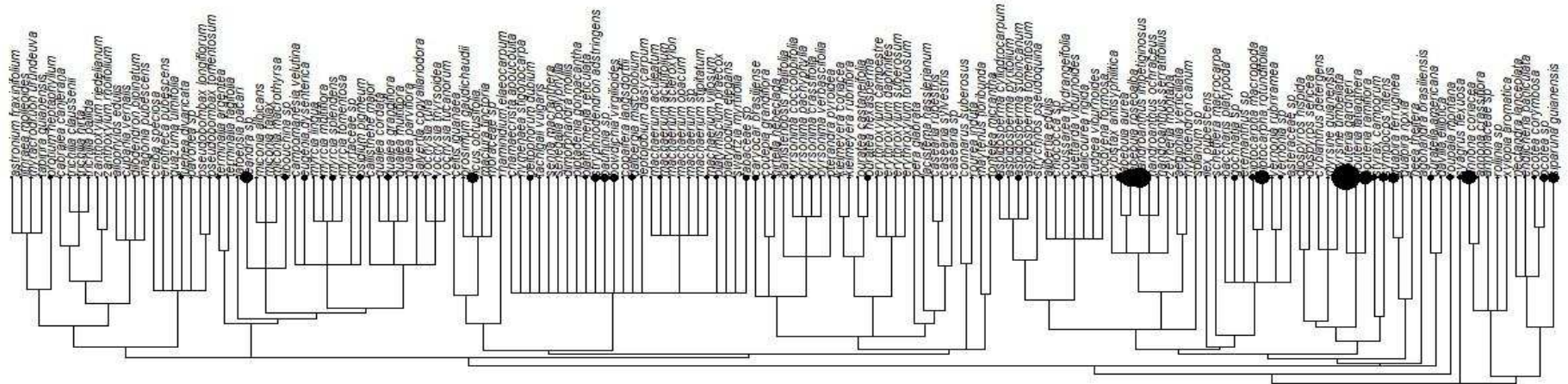


Figura 4. Distribuição dos valores de largura foliar ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

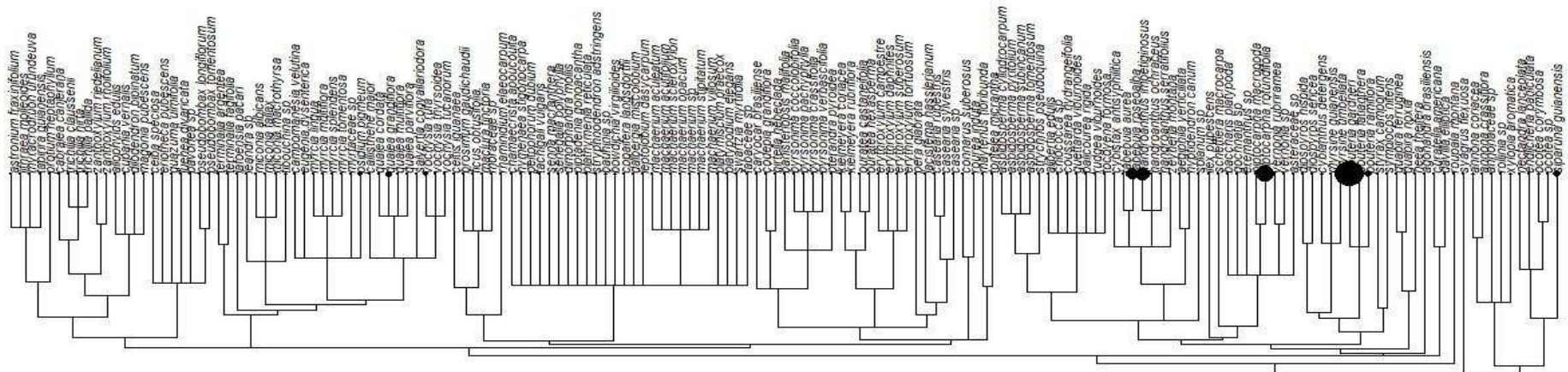


Figura 5. Distribuição dos valores de comprimento de pecíolo ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

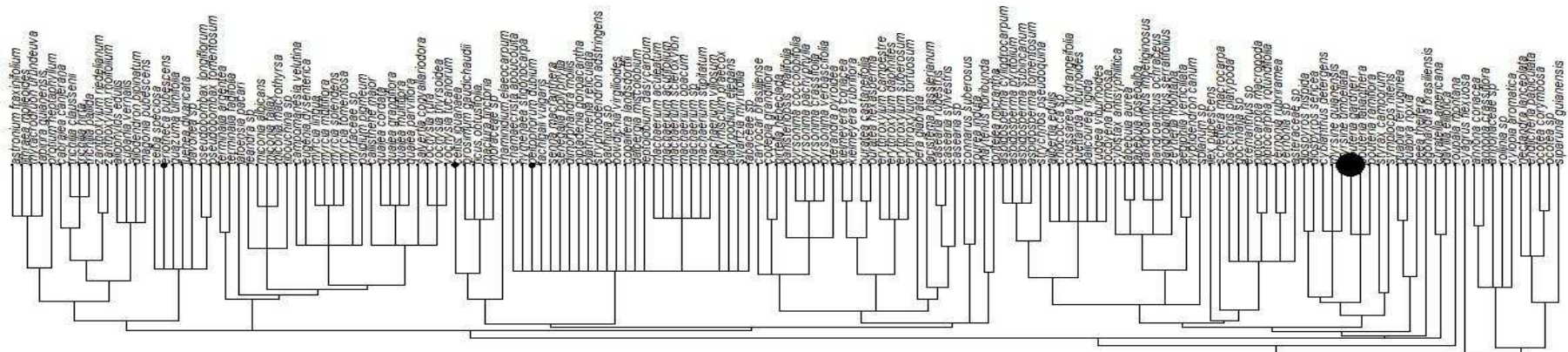


Figura 6. Distribuição dos valores de largura de pecíolo ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

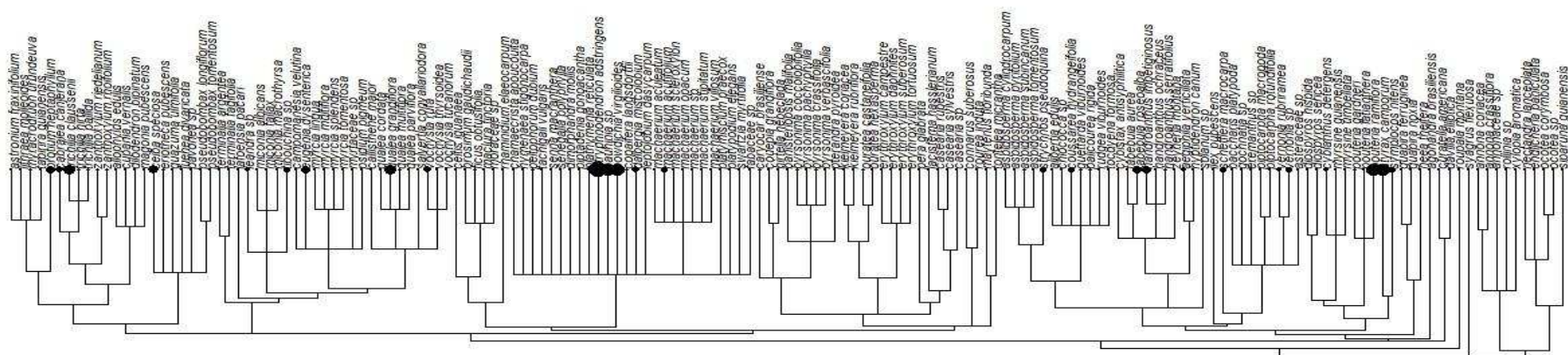


Figura 7. Distribuição dos valores de comprimento do fruto ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

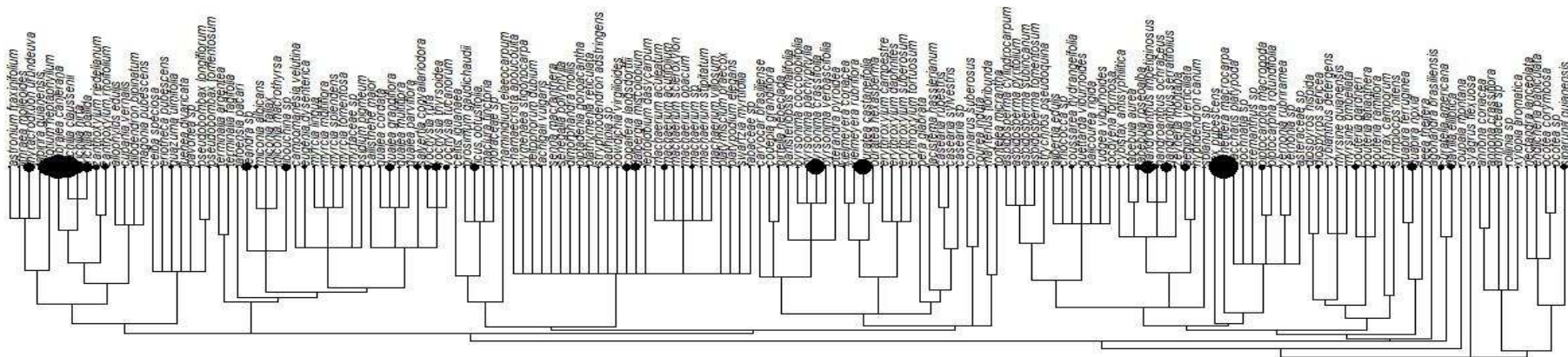


Figura 8. Distribuição dos valores de largura do fruto ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

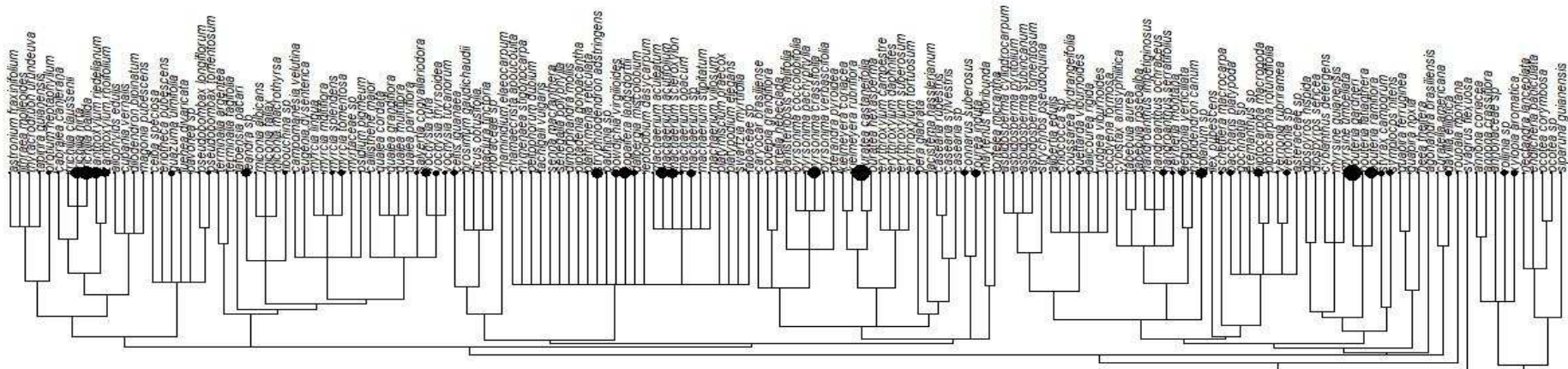


Figura 9. Distribuição dos valores de comprimento da semente ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

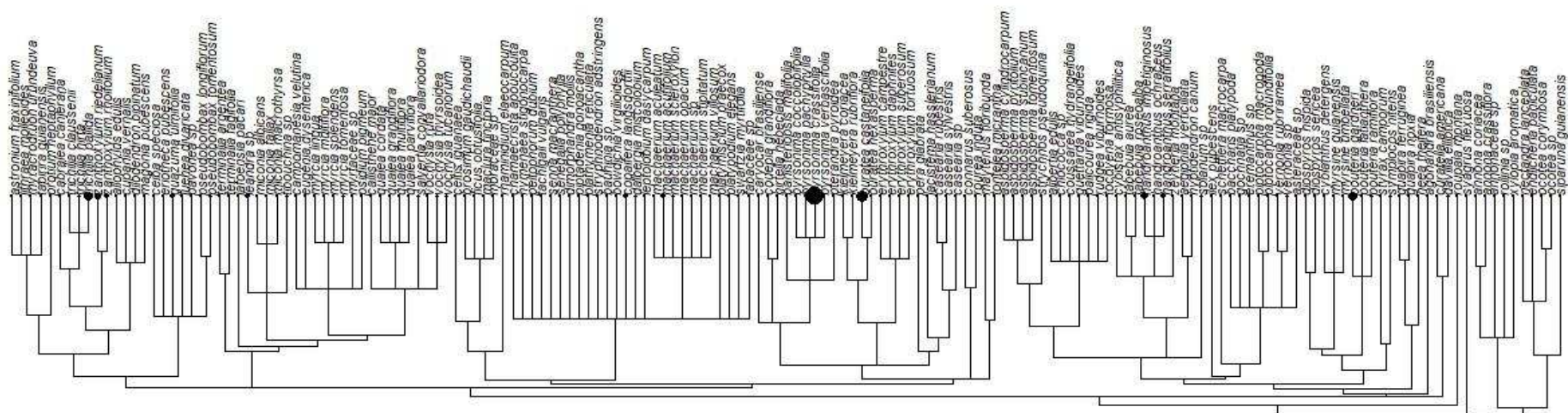


Figura 10. Distribuição dos valores de largura da semente ao longo da árvore filogenética de 165 espécies da FLONA Paraopeba, MG. Os círculos pretos maiores indicam presença de sinal filogenético significativo.

VI. DISCUSSÃO

Nosso resultado das análises de sinal filogenético indicou um predomínio de conservantismo de nicho para as comunidades estudadas, o que sugere agrupamentos filogenéticos causados por filtragem ambiental nessas comunidades. Também espera-se que ocorra sobredispersão filogenética causada pela influência da exclusão competitiva e de efeitos dependentes de densidade. Assim, os filtros ambientais no Cerrado estariam selecionando espécies funcionalmente similares pela capacidade de estarem adaptados a determinadas condições ambientais, reunindo espécies com nichos ecológicos similares nas amostras.

Os traços que apresentaram resultados significativos de sinal filogenético com K próximos e maiores que 1 (um) foram largura foliar, comprimento e largura de pecíolo, comprimento e largura de fruto, todos eles relacionados com a disponibilidade de recursos, com o suporte hídrico foliar e com o *trade-off* dispersão-colonização. Como os traços funcionais são predominantemente conservados e as espécies que coexistem estão mais filogeneticamente relacionadas do que o esperado ao acaso (filogeneticamente agrupadas), sugere-se a existência de um filtro ambiental como regra de montagem nas comunidades (WEBB, et al., 2002). Assim a disponibilidade e a restrição de recursos no *trade-off* dispersão-colonização podem causar agrupamento filogenético entre as espécies do Cerrado, onde as linhagens estreitamente relacionadas são mais parecidas em relação ao tamanho de folhas e ao tamanho de frutos do que o esperado pelo movimento browniano (BM) (BLOMBERG et al., 2003).

Os traços que são conservados na filogenia são as adaptações das espécies ancestrais a determinadas condições ambientais que são conservadas e compartilhadas com as espécies descendentes, e se estes traços são mais semelhantes em espécies aparentadas, estaríamos falando de sinal filogenético. Os resultados indicam que o sinal filogenético dos traços morfométricos medidos para as 165 espécies das cinco comunidades do Cerrado foram predominantemente conservados. Portanto, largura foliar, comprimento e largura do pecíolo, comprimento e largura do fruto são traços funcionais fundamentais na adaptação das plantas aos ecossistemas de Cerrado em que ocorrem. Como o sinal filogenético sugere conservantismo de nicho (SWENSON et al. 2007) e uma eventual filtragem ambiental estaria contribuindo para a semelhança na composição de espécies e no agrupamento filogenético das comunidades (WEBB et al., 2002), nosso resultados

sugerem que esses traços funcionais são importantes na montagem das comunidades do Cerrado.

A comparação dos resultados obtidos com o índice K de Blomberg com outros de métodos confirmou o sinal filogenético para os mesmos traços seguindo um modelo de evolução browniano. O método I Moran e Cmean indicaram que as espécies estreitamente relacionadas são mais semelhantes em relação aos traços funcionais estudados, se encaixando no conservantismo de nicho (WEBB et al. 2002). Significa que, nessas comunidades, a filtragem ambiental causa agrupamento filogenético.

Os resultados mostraram um padrão de conservantismo de traços para espécies dentro do Cerrado de Paraopeba, considerando-se a metacomunidade. O grupo de espécies que apresentaram conservantismo de traços (sinal filogenético) foram as espécies que representam as floresta secas (DRY), Leguminosas (LEG) e espécies savânicas (SAV).

Espécies características do Cerradão Mesotrófico, como *Tabebuia aurea*, conservam grande largura foliar, grande comprimento de pecíolo e grande comprimento de fruto. Esses traços são adequados a um ambiente com limitação de luz, maior disponibilidade de recursos, o que estaria significando que juntamente com a maior largura foliar existe uma alta capacidade fotossintética, com o maior comprimento de pecíolo ajudando na eficiência hídrica das folhas e com um maior tamanho de fruto há maiores sementes que são eficientes na competição. Assim, os resultados sugerem o Cerradão Mesotrófico como um dos polos do *trade-off* colonização-competição, em que as espécies são predominantemente competidoras e com baixa capacidade colonizadora por produzir poucas sementes grandes.

O cerradão distrófico representado por espécies como *Peltophorum dubium*, *Bauhinia* sp., *Stryphnodendron adstringens*, *Bowdichia virgioides* e *Machaerium acutifolium* apresentou conservantismo de traços para todas as espécies da família. Conservaram-se valores altos de largura foliar, comprimento de pecíolo assim como valores altos de comprimento e largura de fruto, onde as estratégias que as leguminosas estariam realizando num ambiente estressante com altos níveis de alumínio no solo, estariam relacionadas com os *trade-offs* de colonização-competição, sendo predominantemente competidoras.

O Cerrado ss. sobre Cambissolo um ambiente com uma maior disponibilidade de luz, níveis altos de teor de alumínio no solo, características de um ecossistema savânico, o que estaria selecionando espécies com uma maior tolerância ao estresse, com por exemplo *Qualea grandiflora*. Essa espécie conservou valores baixos de largura foliar e comprimento de pecíolo, assim como valores altos de comprimento e largura de fruto, o que implica em pouca capacidade fotossintética, pouco frutos e poucas sementes em um ambiente estressante. Portanto, há uma baixa fecundidade e alta tolerância do *trade-off* fecundidade-tolerância.

O Cerrado s.s. sobre Latossolo amarelo, caracterizado por ser um ambiente savânico, está representado por espécies como: *Piptocarpa rotundifolia*, *Styrax camporum* e *Symplocos nitens* que conservaram valores baixos de largura foliar, assim como valores baixos de comprimento e largura de fruto, também ajustados à tolerância no *trade-off* fecundidade-tolerância. É o mesmo caso do Cerrado s.s. sobre Latossolo Vermelho Amarelo, também caracterizados por serem ambientes savânicos, representados por espécies como *Pouteria latianthera* e *Handroanthus impetiginosus*. Conservaram valores baixos de largura foliar, comprimento de largura de fruto, relacionados ao estresse nutricional e uma alta disponibilidades de luz, o que estaria selecionando espécies com baixa largura foliar e frutos pequenos.

Nossos resultados sugerem que no Cerrado brasileiro as espécies tem predominantemente traços funcionais relacionados às restrições de recursos do de solo e de luz que fazem parte dos *trade-offs* de competição-dispersão e fecundidade-tolerância. Esses *trade-offs* explicariam a ocorrência de espécies preferencialmente em ambientes savânicos ou de cerradões. Os ambientes savânicos com níveis baixos de recursos no solo, altos teores de alumínio e pouca cobertura vegetal, favorecem espécies com traços funcionais de estratégias tolerantes como valores baixos de largura foliar. Nesse caso, as espécies têm menor tamanho da folha, maior investimento em componentes estruturais que permitem suportar a alta disponibilidade de luz.

O conservantismo de traços relacionados ao tamanho de fruto sugere que as espécies têm estratégias de dispersão com a presença de frutos maiores e maior presença de sementes aladas, como é o caso das espécies DRY, comuns em áreas de florestas secas. Mas essas espécies também apresentam muitos frutos pequenos com muitas sementes

pequenas, portanto com maior fertilidade e menor tolerância ao estresse do que espécies com sementes pouco numerosas e maiores (MULLER-LANDAU, 2008).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APG [Angiosperm Phylogeny Group] IV. 2016. Stevens, P. F. 2001. Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- BATALHA MA, MANTOVANI W. 2000. Reproductive phenological patterns of Cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. *Revista Brasileira de Biologia*, 60(1), 129-145.
- BATALHA, M. et al. 2011. Phylogeny, traits, environmental and space in cerrado plant communities at Emas National Park (Brazil). 2011. *Flora: Morphology, distribution, functional Ecology of plant*, Vol. 206, Nº 11, 949-956.
- BARALOTO, C; HARDY, O; TIMOTHY, P; DEXTER, K; CRUAUD, C; DUNNING, L; GONZALES, M; MOLINO, J; SABATIER, D; SAVOLAINEN, V; CHAVE, J., 2012. Using functional traits and phylogenetic trees to examine the assembly of tropical tree communities. *Journal of Ecology*. doi: 10.1111/j.1365-2745.2012.01966.x.
- BLOMBERG SP, GARLAND JRT, IVES AR. 2003. Testing for phylogenetic signal in comparative data: behavioral traits are more labile. *Evolution*, 57(4), 717-745.
- ABOUHEIF, E. 1999. A method for testing the assumption of phylogenetic independence in comparative data. *Evolutionary Ecology Research* 1, 895–909.
- BLOMBERG, S. P., GARLAND, T. AND IVES, A. R. 2003. Testing for phylogenetic signal in comparative data: behavioral traits are more labile. *Evolution* 57, 717–745.
- BOLMGREN K, ERIKSSON O. 2005. Fleshy fruits—origins, niche shifts, and diversification. *Oikos*, 109(2), 255-272.
- CARRION F.; GASTAUER M.; MOTA N.; MEIRA-NETO J. 2017. Facilitation as driver of plant assemblages in Caatinga. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.03.006>
- CAVENDER-BARES J.; KEEN A.; MILES B. 2006. Phylogenetic structure of Floridian plant communities depends on taxonomic and spatial scale. *Ecology*, 87(7) pp. S109-S122.
- CAVENDER-BARES, J., KOZAK, K. H., FINE, P. V. A. AND KEMBEL, S. W. 2009. The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology letters* 12, 693-715.
- CORNELISEN JHC.; AERTS R.; CERABOLINI B.; WERGER MJA. 2001. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy. *Oecologia* 129. 611-619.

CORNELISEN JHC.; LAVOREL S.; GARNIER E.; DIAZ S. BUCHMANN N.; GURVICH D.; RICH P.B.; STEEGE H.; MORGAN H.; VAN DER HEIJDEN M.; PAUSAS J.; POORTER H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional trait, worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, 335-380.

COUTINHO LM. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In *Fire in the tropical biota* (pp. 82-105). Springer Berlin Heidelberg.

CRANE PR, FRIIS EM, PEDERSEN KR. 1995. The origin and early diversification of angiosperms. *Nature (London)* 374:27–33.

CRISP, M. AND COOK, L., 2012. Phylogenetic niche conservatism: what are the underlying evolutionary and ecological causes? *New phytologist* doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04298.x

DANTAS V.; BATALHA M.; PAUSAS J. 2013. Fire drives functional thresholds on the savanna-forest transition. *Ecology*, 94(11) 2454-2463.

DEBASTIANI, V. J. AND DUARTE, L. DA S. 2016. Evolutionary Models and Phylogenetic Signal Assessment via Mantel Test. *Evolutionary Biology* doi: 10.1007/s11692-016-9396-1.

DINIZ, E.S. EcoFilo – análises filogenéticas de comunidades de plantas. 2017. [dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.14470.06725](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14470.06725).

DINIZ-FILHO, J. A. F., SANT'ANA, C. E. R. AND BINI, L. M. 1998. An Eigenvector Method for estimating Phylogenetic Inertia. *Evolution* 52, 1247–1262.

DINIZ-FILHO, J. A. F., RANGEL, T. F., SANTOS, T. AND BINI, L. M. 2012. Exploring pattern of interspecific variation in quantitative traits using sequential phylogenetic eigenvector regressions. *Evolution* 66, 1079–1090.

DINIZ-FILHO, J. A. F., ALVES, D. M. C. C., VILLALOBOS, F., SAKAMOTO, M., BRUSATTE, S. L. AND BINI, L. M. 2015. Phylogenetic eigenvectors and non-stationarity in the evolution of theropod dinosaur skulls. *Journal of Evolutionary Biology* 28, 1410–1416.

DWYER J., HOBBS R. & MAYFIELD M. M. 2014 Specific leaf area responses to environmental gradients through space and time. *Ecology* 95, 399–410.

EITEN G. 1994. Vegetação do cerrado. *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*, 2, 17-73.

ERIKSSON O, JAKOBSSON A. 1999. Recruitment trade-offs and the evolution of dispersal mechanisms in plants. *Evolutionary Ecology*, 13(4), 411-423.

GOTTSBERGER, G., SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I., 2006. Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation, Origin, Structure, Dynamics and Plant Use, vol. 1. Reta, Ulm.

GRANT, P. 2011. Adaptive Radiation. Princeton University Press.

GRACE J.B. 1991. A clarification of the debate between Grime and Tilman. *Functional Ecology* Vol.5, Nº 5, 583-587.

GRIME, J., 2006. Trait convergence and trait divergence in herbaceous plant communities: Mechanisms and consequences. *Journal of Vegetation science* 17: 255-260.

HOFFMANN, W.A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. *Journal of Ecology*, 383-393.

HOFFMAN, W. A.; SILVA, E.; MACHADO, G.; BUCCI, S. 2005. Seasonal leaf dynamic across

KEMBEL, S.W. 2010 Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics*. Vol. 26, 1463-1464.

KUHLMANN, M. and RIBEIRO, J. 2016. Evolution of seed dispersal in the Cerrado biome: ecological and phylogenetic consideration. *Acta Botanica Brasil.* Vol. 30, Nº 2, 271-282. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-33062015abb0331>.

LOSOS, J. B. 2008. Phylogenetic niche conservatism, phylogenetic signal and the relationship between phylogenetic relatedness and ecological similarity among species. *Ecology letters* 11, 995–1003.

MIATTO, C and BATALHA, M, 2017. Are the Cerrado the seasonal forest woody floras assembled by different processes despite their spatial proximity? *Plant Ecology* 1-11. doi:10.1093/jpe/rtx044

MANTEL, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer research* 27, 209–220.

MAYFIELD, M. and LEVINE, M. 2010. Opposing effects of competitive exclusion on the phylogenetic structure of communities. *Ecology Letters*, 13:1085-1093 doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01509.x

MORAN, P. A. P. 1950. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika* 37, 17–23.

MULLER-LANDAU, H. C 2008 Colonization-related trade-offs in tropical forests and their role in the maintenance of plant species diversity. In: *Tropical forest community ecology* pp. 182–195 Blackwell Publishing, Chichester.

MULLER-LANDAU H. C. 2010 The tolerance–fecundity trade-off and the maintenance of diversity in seed size. *Proc Natl Acad Sci U S A* 107, 4242–4247.

MÜNKEMÜLLER T, LAVERGNE S, BZEZNIK B, et al. 2012. How to measure and test phylogenetic signal. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(4), 743-756.

MYERS N, MITTERMEIER RA, MITTERMEIER CG, FONSECA GA, KENT J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.

NERI, A.V. 2007, Gradiente pedológico-vegetacional de Cerrado em Paraopeba, MG. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 125p.

OLALLA-TÁRRAGA, M. Á., GONZÁLEZ-SUÁREZ, M., BERNARDO-MADRID, R., REVILLA, E. AND VILLALOBOS, F. (2016). Contrasting evidence of phylogenetic trophic niche conservatism in mammals worldwide. *Journal of Biogeography* in press.

PAGEL, M. 1997. Inferring evolutionary processes from phylogenies. *Zoologica Scripta* 26, 331–348.

PYRON RA, COSTA GC, PATTEN MA, BURBRINK FT. 2015. Phylogenetic niche conservatism and the evolutionary basis of ecological speciation. *Biol Rev* 90:1248–1262

PENNINGTON RT, RICHARDSON JE, LAVIN M. 2006A. Insights into the historical construction of species-rich biomes from dated plant phylogenies, neutral ecological theory and phylogenetic community structure. *New Phytol* 172:605–616.

PENNINGTON RT, LEWIS GP, RATTER JA. 2006B. An overview of the plant diversity, biogeography and conservation of neotropical savannas and seasonally dry forests. In *Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests: Plant Diversity, Biogeography, and Conservation*, eds Pennington RT, Lewis GP, Ratter JA (CRC Press, Boca Raton, FL), pp 1–29.

PÉREZ-HARGUINDEGUY N, DÍAZ S, GARNIER E, LAVOREL S, POORTER H, JAUREGUIBERRY P, BRET-HARTE MS, CORNWELL WK, CRAINE JM, GURVICH DE, URCELAY C, VENEKLAAS EJ, REICH PB, POORTER L, WRIGHT IJ, RAY P, ENRICO L, PAUSAS JG, VOS AC, BUCHMANN N, FUNES G, QUÉTIER F, HODGSON CJG, THOMPSON K, MORGAN HD, STEEGE H, HEIJDEN MGA, SACK L, BLONDER B, POSCHLOD P, VAIERETTI MV, CONTI G, STAVER AC, AQUINO S & CORNELISSEN JHC. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61: 167-234.

PAVOINE, S., OLLIER, S., PONTIER, D. AND CHESSEL, D. 2008. Testing for phylogenetic signal in phenotypic traits: New matrices of phylogenetic proximities. *Theoretical Population Biology* 73, 79–91.

PESCADOR, D.; BELLO, F.; VALLADARES F.; ESCUDERO, A., 2015. Plant trait variation along altitudinal gradient in Mediterranean high mountain grassland: controlling the species turnover effect. *Ploss One*. doi:10.1371/journal.pone.0118876

POORTER, L., 2008. Leaf traits show different relationships with shade tolerance in moist versus dry tropical forest. *New phytologist*. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02715.x

POORTER, L.; McDONALD, I.; ALARCON, A.; FICHTLER, E.; LICONA, J.; PEÑA-CLAROS, M.; STERCK, F.; VILLEGAS, Z.; SASS-KLAASSEN, U. 2009. The importance of Wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. *New Phytologist*. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.03092.x

REVELL LJ, HARMON LJ, COLLAR DC. 2008. Phylogenetic signal, evolutionary process, and rate. *Systematic Biology*, 57(4), 591-601.

REVELL LJ. 2012. Phytools: an R package for phylogenetic comparative biology (and other things). *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2), 217- 223.

RIBEIRO JF, WALTER BMT. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. Pp.51-212. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. v1. Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF.

RICHARDSON, AD; KEENAN, TF; MIGLIAVACCA, M; RYU, Y; SONNENTAG, O; TOOMEY, M. 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Metereology*, 169: 156 - 173.

SIMON MF, GREYER R, DE QUEIROZ LP, SKEMA C, PENNINGTON RT, HUGHES CE. 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(48), 20359-20364.

THE PLANT LIST. 2015. A working list of all plant species. <http://www.theplantlist.org/>

TOLENTINO SOARES G. 2011. Composição e partição de nicho em gradients de solo e luz no Cerrado. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 80 p.

TOLENTINO SOARES G. 2015. Grupos funcionais, uso dos recursos e diversidade funcional de plantas lenhosas no Cerrado. Dissertação (Doctorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 69 p.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J. D. 2007. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.3, p.307-311.

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK M. A.; DONOGHUE M. J. 2002. Phylogenies and community ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v. 33, n. 1, p. 475-505.

WHITHAM, T. G., W. YOUNG, G. D. MARTINSEN, C. A. GEHRING, J. A. SCHWEITZER, S. M. SHUSTER, G. M. WIMP, D. G. FISCHER, J. K. BAILEY, R. L. LINDROTH, S. WOOLBRIGHT, AND C. R. KUSKE. 2003. Community genetics: a consequence of the extended phenotype. *Ecology* 84:559–573.

WIENS JJ, ACKERLY DD, ALLEN AP. 2010. Niche conservatism as an emerging principle in ecology and conservation biology. *Ecology letters*, 13(10), 1310-1324.

IV. Informação suplementaria

Apêndice S1. Valores dos traços funcionais de 165 espécies presentes nas cinco comunidades do Cerrado da FLONA de Paropeba, Minas Gerais. CP=comprimento de pecíolo, LP= Largura de pecíolo, CF=Comprimento de fruto, LF= Largura do fruto, CS= Comprimento da Semente, LS= Largura da semente, Altura máxima (m), Largura foliar (cm), Pecíolo (cm), fruto (cm), semente (cm), a base de dados foi gerada com informações obtidas através de consulta a exsicatas disponibilizadas online (para lista de herbários consultados).

Espécies	Altura Max.	Altura Max/Diâmetro Max	Largura foliar	Pecíolo		Fruto		Semente	
				CP	LP	CF	LF	CS	LS
<i>Aegiphila verticillata</i>	2	15.385	4.1	0.2	0.3	1	0.9	0.9	0.8
<i>Agonandra brasiliensis</i>	5.8	20.789	3.65	0.76	0.1	2.05	1.8	1	0.8
<i>Alibertia edulis</i>	25	25.641	5.5	0.9	0.2	8	7	0.2	0.2
<i>Allophylus edulis</i>	5.5	36.667	2.76	3.15	0.1	0.8	0.7	0.6	0.6
<i>Annona coriacea</i>	9	10.976	8.7	0.4	0.3	20	12	2	1
<i>Annona crassiflora</i>	14	13.158	5.6	1.65	0.1	16	16	0.3	1
<i>Annonaceae sp</i>	6	46.154	7.37	1.33	0.1	25	15	1.6	1.6
<i>Aspidosperma cylindrocarpum</i>	20	33.333	5.8	2.5	0.1	8	8	4.7	1.8
<i>Aspidosperma pyriforme</i>	15	20.408	6.325	2.275	0.15	8.3	6.3	6	5
<i>Aspidosperma subincanum</i>	25	26.178	2.06	0.6	0.1	8	4	5	3.5
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	11.5	17.829	3.8	0.8	0.23	8	4.5	4	3
<i>Asteraceae sp</i>	2.75	14.946	3.66	0.875	0.1	0.2	0.1	0.18	0.9
<i>Astronium fraxinifolium</i>	25	24.752	4.24	0.34	0.12	1.5	2	1	0.4
<i>Baccharis platypoda</i>	4.8	18.677	2	0.75	0.1	0.7	0.7	0.2	0.05
<i>Banisteriopsis malifolia</i>	5.5	11.828	2.27	0.45	0.1	3	1	1	1
<i>Bauhinia sp</i>	5	35.714	5.58	1.16	0.16	21.1	1.9	0.9	0.5
<i>Bowdichia virgilioides</i>	24	30.612	6.8	1.8	1	7	1.5	0.3	0.4
<i>Brosimum gaudichaudii</i>	8.5	42.500	2.5	0.475	0.13	3	3	2.6	2.6
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	8	17.778	8.3	0.25	0.2	1	1	0.8	0.8
<i>Byrsonima crassifolia</i>	5.8	12.889	7	0.8	0.25	2	2	1.6	1.6

<i>Byrsonima pachyphylla</i>	4.5	9.574	6.63	0.1	0.3	1	1	0.8	0.8
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	7	15.086	7.15	0.375	0.4	2.5	2.5	2	2
<i>Cabralea canjerana</i>	4.2	28.966	8.16	0.53	0.13	1.78	1.48	0.3	0.2
<i>Callisthene major</i>	25	250.000	4.7	0.1	0.1	1.5	1.5	1	0.5
<i>Campomanesia velutina</i>	20	21.739	2.53	0.875	0.1	1.3	1.3	0.5	0.4
<i>Caryocar brasiliense</i>	9	5.114	21.44	4.97	0.3	10	6	4	3
<i>Casearia rupestris</i>	16	32.653	7	0.5	0.2	2.7	2.6	0.8	0.8
<i>Casearia sp</i>	5	47.619	2.9	0.5	0.2	0.4	0.3	0.1	0.1
<i>Casearia sylvestris</i>	3.5	14.286	3.3	0.6	0.1	0.5	0.5	0.15	0.15
<i>Ceiba speciosa</i>	1.7	16.190	12.18	8	0.1	15	5	2	2
<i>Celtis iguanaea</i>	4	16.667	2.77	0.3	0.16	1.5	1.5	1	1
<i>Chamaecrista apoucouita</i>	10	24.390	11.6	0.3	0.13	20	3	1	1
<i>Chiococca sp</i>	2	18.182	2.56	0.56	0.1	0.7	0.6	0.2	0.2
<i>Connarus suberosus</i>	2.7	20.000	8.4	4	0.1	2	1.8	1.5	0.6
<i>Copaifera langsdorffii</i>	27	21.260	10.5	0.2	0.1	4	2.5	2	1
<i>Couepia grandiflora</i>	8.7	14.846	7.1	1	0.3	4	3	3	2
<i>Coussarea hydrangeifolia</i>	11.2	112.000	6.56	0.43	0.1	1.05	1	0.5	0.5
<i>Cupania vernalis</i>	18	30.508	13.46	9.25	0.3	3	3	1	1
<i>Curatella americana</i>	20	33.898	5.4	0.6	0.2	0.625	0.475	0.5	0.3
<i>Cybianthus detergens</i>	7	33.333	4.95	1.175	0.175	0.6	0.65	0.5	0.55
<i>Cybistax antisiphilitica</i>	10	22.222	13.8	12.96	0.2	24	5	1.3	1.1
<i>Dalbergia miscolobium</i>	13	14.773	4.3	0.2	0.1	7	2	0.6	0.5
<i>Davilla elliptica</i>	2.5	13.514	3.73	1.4	0.2	1.5	1.5	1.2	1.2
<i>Dilodendron bipinatum</i>	28	25.000	7.95	1.4	0.15	4	4.5	2	2
<i>Dimorphandra mollis</i>	8	16.842	3.65	10.6	0.4	16.2	3.6	4	1
<i>Diospyros hispida</i>	23	23.590	7.9	1.2	0.35	6	6	2.5	2
<i>Diospyros sericea</i>	7	33.019	1.9	2	0.2	4.5	3.5	2	2
<i>Endlicheria paniculata</i>	7	53.846	5.6	1.5	1.16	4	2	3	1.5
<i>Eremanthus sp</i>	3	17.045	6	1.7	0.2	0.5	0.2	0.3	0.1
<i>Eriotheca pubescens</i>	16	19.851	18.65	4.2	0.175	7	5.5	1	1
<i>Erythroxylum campestre</i>	6	16.216	4.5	0.35	0.2	1	0.6	0.7	0.4

<i>Erythroxylum daphnites</i>	7	17.073	1.53	0.2	0.1	1	0.8	0.7	0.5
<i>Erythroxylum suberosum</i>	8.5	31.835	4.5	0.4	0.2	1	1	0.7	0.7
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	2.6	6.806	3.25	1.45	0.2	1	0.5	0.7	0.3
<i>Eugenia dysenterica</i>	12	37.500	2.26	1.34	0.1	1.5	1.6	1.2	0.8
<i>Fabaceae sp</i>	7	63.636	11.06	2.5	1	8	1.5	1	1
<i>Ficus obtusifolia</i>	20	48.544	6.23	3.25	0.3	1.55	1.7	0.1	0.1
<i>Gochnatia sp</i>	3.5	23.026	4.4	1.13	0.2	0.45	0.35	0.1	0.1
<i>Guapira ferruginea</i>	8	15.094	4	0.96	0.175	0.6	0.4	0.5	0.3
<i>Guapira noxia</i>	13	15.294	6	2.5	0.15	0.8	0.4	0.6	0.3
<i>Guazuma ulmifolia</i>	22	29.530	4.42	0.975	0.1	2.2	1.9	0.2	0.2
<i>Guettarda viburnoides</i>	25	38.462	8.65	3.05	0.25	0.8	0.9	0.65	0.725
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	20	80.000	15	4.05	0.2	40	2.5	4.5	1.5
<i>Handroanthus ochraceus</i>	20	39.216	15.5	7.1	0.3	30	2	0.7	0.7
<i>Handroanthus serratifolius</i>	20	25.641	16	6.55	0.1	30	2	3.5	1
<i>Hirtella hebeclada</i>	4	19.048	5.33	0.5	0.27	8.7	5	5	3
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	12	32.000	13.98	2	0.2	17	6	3	2
<i>Hyptidendron canum</i>	7	7.865	5.1	1.5	0.16	0.25	0.2	1.6	1.6
<i>Ilex pubescens</i>	6.5	40.625	2.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.4	0.2
<i>Kielmeyera coriacea</i>	15	53.571	8.2	0.5	0.4	15	4	5	3
<i>Kielmeyera rubriflora</i>	4.8	18.462	1.8	0.3	0.1	4.6	1.5	4.5	2
<i>Lacistema hasslerianum</i>	3.8	23.750	3.7	0.7	0.13	2	1.2	1.8	1
<i>Lafoensia pacari</i>	3	13.453	6.22	0.63	0.3	6	3	3.2	1.4
<i>Leandra sp</i>	5	45.455	4.5	1.7	0.4	1	1	0.1	0.1
<i>Leptolobium dasycarpum</i>	15	136.364	8.4	2.55	0.3	5.8	1.43	0.6	0.5
<i>Lithraea molleoides</i>	20	30.534	8.5	2.66	0.1	0.7	0.7	0.3	0.3
<i>Luehea divaricata</i>	25	33.784	3.15	0.3	0.1	3.7	2.5	0.1	0.1
<i>Machaerium aculeatum</i>	15	69.767	2.175	2.4	0.25	6.4	1.3	0.5	0.3
<i>Machaerium acutifolium</i>	25	37.879	10.71	4.25	0.1	5.52	1.45	0.93	0.53
<i>Machaerium opacum</i>	25	30.864	11.72	3.4	0.25	7.2	1.82	1.4	0.8
<i>Machaerium scleroxylon</i>	7.5	25.253	3.93	0.93	0.1	5.23	1.63	1.1	0.63
<i>Machaerium sp</i>	8	23.529	8.3	4.5	0.2	5.9	1.4	0.8	0.6

<i>Machaerium stipitatum</i>	9.6	35.556	5.5	1.15	0.1	4.85	0.95	0.7	0.4
<i>Machaerium villosum</i>	16	13.974	9.6	4.4	0.16	8	2.05	1.5	0.8
<i>Maclura tinctoria</i>	3	9.646	5.96	1	0.1	0.8	0.76	0.1	0.1
<i>Magonia pubescens</i>	25	52.083	9.175	3.85	0.2	9	10	5.1	9.95
<i>Maytenus floribunda</i>	20	26.667	2.5	0.3	0.1	1.56	1.1	0.9	0.6
<i>Miconia albicans</i>	16	123.077	4.73	0.7	0.32	1	1	0.1	0.1
<i>Miconia fallax</i>	6	32.787	4.7	1.45	0.25	1	1	0.1	0.1
<i>Miconia macrothyrsa</i>	1.6	7.273	6.1	1.36	0.3	1	1	0.1	0.1
<i>Moraceae sp</i>	1.8	13.846	4.7	3	0.2	9	10	7	6
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	25	74.627	10.28	3.5	0.2	2	1	0.5	0.5
<i>Myrcia lingua</i>	18	81.818	4.125	0.575	0.3	0.93	0.73	0.4	0.4
<i>Myrcia multiflora</i>	1.8	15.000	2.25	0.5	0.5	0.46	0.46	0.24	0.24
<i>Myrcia splendens</i>	25	51.867	2.725	0.23	0.1	1.2	0.6	1	0.5
<i>Myrcia tomentosa</i>	20	41.667	4.48	0.35	0.2	0.8	0.8	0.6	0.6
<i>Myrsine guianensis</i>	9.5	23.171	3.76	0.8	0.2	2.2	1.5	1.8	1
<i>Myrsine umbellata</i>	15	34.091	3.25	1.1	0.2	0.5	0.4	0.4	0.3
<i>Myrtaceae sp</i>	9.7	38.800	1.85	0.35	0.1	0.5	0.5	0.4	0.4
<i>Nectandra lanceolata</i>	2.5	19.231	5	1	0.2	2	1	1.4	1
<i>Neea theifera</i>	4.1	28.276	6.2	0.3	0.3	1.5	0.8	1	0.6
<i>Ocotea corymbosa</i>	9.5	23.114	2.4	0.5	0.1	3	2	2.7	1.6
<i>Ocotea sp</i>	9	43.902	6.5	1	0.1	4	2	3.5	1.5
<i>Ouratea castaneifolia</i>	13	61.905	4.6	0.7	0.16	1.2	1	1	0.9
<i>Ouratea hexasperma</i>	5.8	16.338	4.52	0.65	0.32	0.95	0.5	0.8	0.4
<i>Palicourea rigida</i>	2.2	19.643	12.78	0.43	0.4	1	0.8	0.38	0.45
<i>Pavonea sp</i>	5	49.020	3.5	1	0.2	0.5	0.8	0.15	0.1
<i>Peltophorum dubium</i>	2.8	28.000	11.625	3.8	0.2	7	2.5	1	1
<i>Pera glabrata</i>	25	17.123	3.4	0.8	0.1	1.2	1.2	0.6	0.4
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	16	48.485	6.6	2.4	0.2	12.86	2.1	0.7	0.6
<i>Piptocarpha macropoda</i>	6	50.000	4.8	1.8	0.1	1	0.1	0.5	0.1
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	5.9	21.852	4.2	2	0.2	1.5	0.4	1	0.2
<i>Plathymentia reticulata</i>	30	32.967	6.5	5.5	0.2	14.96	2.96	0.8	0.5

<i>Platymiscium praecox</i>	6	40.268	9.6	3.7	0.1	8.5	2.5	2	1
<i>Platypodium elegans</i>	27	54.000	6.7	1.85	0.1	8.16	2.4	1.6	1.2
<i>Pouteria gardneri</i>	16	14.953	3.12	0.82	0.1	2.05	1.85	1	0.7
<i>Pouteria latianthera</i>	10	35.088	3.96	1.1	0.2	2	2	1	1
<i>Pouteria ramiflora</i>	11	15.320	4.6	0.775	0.1	3.5	3	1.4	0.7
<i>Protium heptaphyllum</i>	18	34.026	17.6	4.8	0.2	1.8	1	1.6	0.86
<i>Pseudobombax longiflorum</i>	10	21.978	32.45	26	0.4	18.85	3.9	0.5	0.3
<i>Pseudobombax tomentosum</i>	16	27.027	37.6	29.2	0.5	19	8.5	0.6	4
<i>Psidium pigmeum</i>	3	17.647	2.5	1.15	0.1	3	3	0.1	0.1
<i>Pterandra pyroidea</i>	2.1	21.000	5.11	0.175	0.225	7	7	3	3
<i>Qualea cordata</i>	13	21.559	5.6	0.6	0.2	2.43	1.16	1.8	0.2
<i>Qualea grandiflora</i>	21	155.556	5.15	1.05	0.2	12	5	3	1
<i>Qualea multiflora</i>	10	19.802	3.7	0.33	0.2	3	2	1.5	0.5
<i>Qualea parviflora</i>	15.5	24.487	4.4	0.3	0.23	5	2.4	4.5	2
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	18	28.436	4.2	1	0.1	1.3	1.2	0.7	0.6
<i>Rollinia sp</i>	1.8	14.634	3.93	0.7	0.2	14	16	1.9	1.55
<i>Roupala montana</i>	11	28.947	5.73	2.65	0.2	3	1.9	2.7	1.7
<i>Rourea induta</i>	4.3	17.917	9.9	1.5	0.1	2	1	1	1
<i>Rudgea viburnoides</i>	10	20.408	5.4	4.55	0.25	1.2	0.9	0.7	0.7
<i>Salvertia convallariodora</i>	9	7.064	12.45	2.8	0.5	4	3.5	4	1.2
<i>Schefflera macrocarpa</i>	7	36.842	26.8	36	0.4	0.8	1.5	0.7	0.7
<i>Senegalia polyphylla</i>	9.5	19.874	7.48	2	0.2	10.4	2.2	0.8	0.4
<i>Senna macranthera</i>	7	50.000	8.9	2.6	0.1	14.5	1.2	3	2
<i>Siparuna guianensis</i>	11	30.055	4.5	0.76	0.1	1.5	1.5	0.15	0.15
<i>Solanum sp</i>	7	30.435	5.46	0.3	0.2	0.7	0.8	0.15	0.15
<i>Strychnos pseudoquina</i>	7	20.000	6	0.46	0.3	2.6	2.85	1.2	1.2
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	6.5	20.833	3.44	6.8	0.3	10	1.8	1.5	1
<i>Styrax camporum</i>	15	46.875	6.5	1.4	0.2	1.5	1	1	0.7
<i>Swartzia myrtifolia</i>	12	53.333	17.5	1.5	0.1	3.4	1.55	1.56	1.16
<i>Syagrus flexuosa</i>	5.5	16.224	46.85	55	4.425	7	4.5	7	4.5

<i>Symplocos nitens</i>	9	13.493	5.8	0.95	0.2	1.2	0.6	0.1	0.1
<i>Tabebuia aurea</i>	7	14.583	23.8	15	0.3	30	3	5	1.8
<i>Tabebuia roseoalba</i>	22	30.769	11.98	6.2	0.1	30	1.4	2.6	1.6
<i>Tachigali vulgaris</i>	22	33.846	17.4	6.3	0.2	13	3	3	2
<i>Tapirira guianensis</i>	13	29.213	18.65	5.75	0.1	1	0.8	0.6	0.4
<i>Terminalia argentea</i>	25	19.685	5.25	1.73	0.15	2.2	5.8	1.5	1.1
<i>Terminalia fagifolia</i>	20	33.445	1.18	0.36	0.1	2	1	0.5	0.2
<i>Tibouchina sp</i>	6	15.789	4	1.5	0.5	1	0.7	0.1	0.1
<i>Tocoyena formosa</i>	5	15.625	10.6	1.35	0.3	4.7	3.7	1	1
<i>Tontelea micrantha</i>	3.5	20.588	3.3	0.6	0.3	5	4.7	2.3	2
<i>Trichilia clausenii</i>	10	43.478	13.1	3.075	0.2	0.86	0.5	0.76	0.4
<i>Trichilia hirta</i>	8	30.769	9.7	4.3	0.1	0.55	0.6	0.45	0.5
<i>Trichilia pallida</i>	15	25.862	26.05	7.13	0.23	1	1	0.9	0.9
<i>Vernonia rubriramea</i>	3.2	32.000	1.3	0.2	0.1	0.6	0.2	0.6	0.1
<i>Vernonia sp</i>	3	23.077	4.4	2.05	0.1	0.25	0.15	0.15	0.15
<i>Vochysia rufa</i>	4.5	28.125	5.45	1.5	0.2	3.7	1.7	3	1.2
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	4.2	14.737	4.5	8	0.2	4	2.5	2.3	0.7
<i>Vochysia tucanorum</i>	11	29.730	3.2	0.8	0.26	1.8	1.8	1.3	0.4
<i>Xylopia aromatica</i>	18	60.000	2.5	0.4	0.2	4	1.5	0.6	0.3
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	2.3	12.105	9.2	6.4	0.2	0.55	0.55	0.4	0.35
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	12	34.286	15.95	5.16	0.3	0.8	0.6	0.4	0.4
<i>Zeyheria montana</i>	16	37.209	19.43	15.1	0.45	4	4.5	0.3	0.2

CAPÍTULO II

ESTRUTURA FILOGENÉTICA DE ESPÉCIES LENHOSAS EM UM GRADIENTE FITOFISONÔMICO DE CERRADO

I. INTRODUÇÃO

Para conhecer o funcionamento do estrato arbóreo-arbustivo do Cerrado é necessário entender a influência dos diferentes fatores na montagem das comunidades do Cerrado. Se por um lado a heterogeneidade abiótica estaria contribuindo com a coexistência de muitas espécies (CHESSON, 2000; SNYDER e CHESSON; 2004, ADLER et al., 2013; KRAFT, 2014) por outro lado os filtros ambientais e a exclusão competitiva estariam limitando a ocorrência de espécies (GOTTSBERGER e SIBERBAHUER- GOTTSBERGER, 2006). Se espécies que coexistem compartilham caracteres ou traços de tolerância abiótica ou de habilidade competitiva (KRAFT, 2004), espécies filogeneticamente mais próximas tendem a ser ecologicamente mais similares (CAVENDER-BARES et al., 2004). Nesses casos em que há mais conservação de caracteres funcionais nas linhagens filogenéticas de comunidades do que o simulado ao acaso, é esperado que a filtragem ambiental cause agrupamento filogenético, por filtrar espécies mais próximas, de forma que a competição ou facilitação cause sobredispersão filogenética (CARRIÓN ET AL., 2017; GASTAUER AND MEIRA-NETO, 2013), uma vez que táxons mais distantes permitiriam a coexistência pela menos sobreposição de nichos e consequente exclusão competitiva.

A evolução e os processos ecológicos estão influenciando na montagem das comunidades em escalas regionais ou locais. Para entender os padrões filogenéticos que existem entre as diferentes fitofisionomias do Cerrado podem ser aplicados os estudos sobre a filobetadiversidade entre comunidades (DUARTE et al. 2014). A limitação de dispersão, heterogeneidade ambiental, competição interespecífica e outras interações, poderiam influenciar na distribuição espacial das espécies em diferentes escalas espaciais (HARMS ET AL., 2001, CONDIT et al. 2002, FINE et al. 2004, GILBERT E LECHOWICZ, 2004, FINE e KEMPELL, 2011) e subsidiar o entendimento da afinidade histórica entre as espécies, assim como a existência de *turnover* de linhagens entre as comunidades.

Os estudos de estrutura filogenética são ferramentas utilizadas para conhecer o processo de montagem das comunidades e encontrar padrões de coexistência das espécies. Para entender como as espécies do Cerrado brasileiro são distribuídas, bem como entender sua alta riqueza de espécies, é necessário conhecer a estrutura filogenética das comunidades do Cerrado. Existem trabalhos realizados para quatro comunidades de Cerrado do Sul brasileiro relacionados com a estrutura filogenética, mostrando a existência de padrões de sobredispersão filogenética de espécies, baixo um modelo de coexistência de gramíneas com árvores, argumentando a existência de interações competitivas herbívoros e ataques de patógenos e especiação ecológica (SILVA & BATALHA, 2009), o trabalho de estrutura filogenética realizado para duas áreas do Cerrado *sensu stricto* tomando em conta o estrato lenhoso, deu como resultado agrupamento filogenético para ambas comunidades (GASTAUER M. & MEIRANETO, 2015), recentes estudos como os de Silva, 2016 fez estudos relacionado a estrutura filogenética em duas comunidades, Cerrado rupestre e Cerrado *sensu stricto* de espécies arbóreo-arbustivas, encontraram só um padrão de agrupamento filogenético para o Cerrado rupestre (SILVA, 2016). Sendo o solo e a luz os principais determinantes da vegetação do Cerrado, o presente trabalho tem como objetivo testar se comunidades em diferentes posições dos gradientes de solo e luz estariam mais agrupadas nas linhagens filogenéticas que ao acaso. Além disso, objetivamos investigar a existência de *turnover* entre as comunidades. Considerando o papel determinante que a evolução do traço tem para a estrutura filogenética nas comunidades do Cerrado, nós presumimos que a disponibilidade de recursos no solo e luz, influencia na estrutura filogenética das comunidades vegetais do Cerrado.

Para esse trabalho abordamos as seguintes questões, I. O que está estruturando as diferentes fitofisionomias do Cerrado? II. O que estaria explicando coexistência das espécies nas diferentes comunidades do Cerrado? III. Quais são as variáveis abióticas que apresentam maior influência na distribuição das espécies nas comunidades do Cerrado? A disponibilidade de luz e nutrientes no solo, são características importantes do Cerrado?

II. MATERIAL E MÉTODOS

2.2. Áreas de Estudo

A área de estudo, Floresta Nacional (FLONA) de Paraopeba (19°20' S e 44°20' W), está situada no município de Paraopeba no Estado de Minas Gerais, distante 90 Km da capital Belo Horizonte e com altitude variando de 734 m ao Sul a 750 m ao Norte. A FLONA é uma unidade de conservação sob responsabilidade do ICMBio e abrange uma área de 200 ha, dos quais 150 ha são de Cerrado, onde as fitofisionomias variam desde cerrado *stricto sensu* (formas savânicas) a cerradões (“woodlands”), sendo as 50 ha restantes destinados à experimentação florestal (ICMBio s.d.). A FLONA de Paraopeba se encontra em regeneração desde 1952, com registro de fogo nos anos 1960 e 1963, tendo sido desde então protegida de queimadas. Por esse motivo a influência do fogo não foi incluída em nossas análises (NERI et al. 2012; TOLENTINO, 2015).

O clima na região é definido como tropical úmido AW segundo a classificação de Köppen, com verões chuvosos e estação seca ocorrendo entre os meses de abril a setembro. A temperatura média anual oscila entre 20°C e 22 °C, com uma precipitação de 1328mm aproximadamente.

Os solos de Cerrado da Floresta Nacional de Paraopeba foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo e Cambissolo (EMBRAPA 1999). Na área da FLONA Paraopeba há grande variação de fertilidade, onde a disponibilidade de Al³⁺ no solo se dá desde a ausência até os 3.47 cmolc. dm⁻³. A abertura do dossel também bastante variável, foi de 6.6% a 52% (média de 20,4% ± 13,52) (TOLENTINO, 2015).

Conforme a Figura 1, o gradiente pedológico-vegetacional se dá as seguinte maneira (Fig.1).

- Cerrado *stricto sensu* sobre Cambissolo
- Cerrado *stricto sensu* sobre Latossolo Amarelo
- Cerrado *stricto sensu* denso sobre Latossolo Vermelho Amarelo
- Cerradão Distrófico sobre Latossolo Vermelho
- Cerradão Mesotrófico sobre Latossolo Vermelho

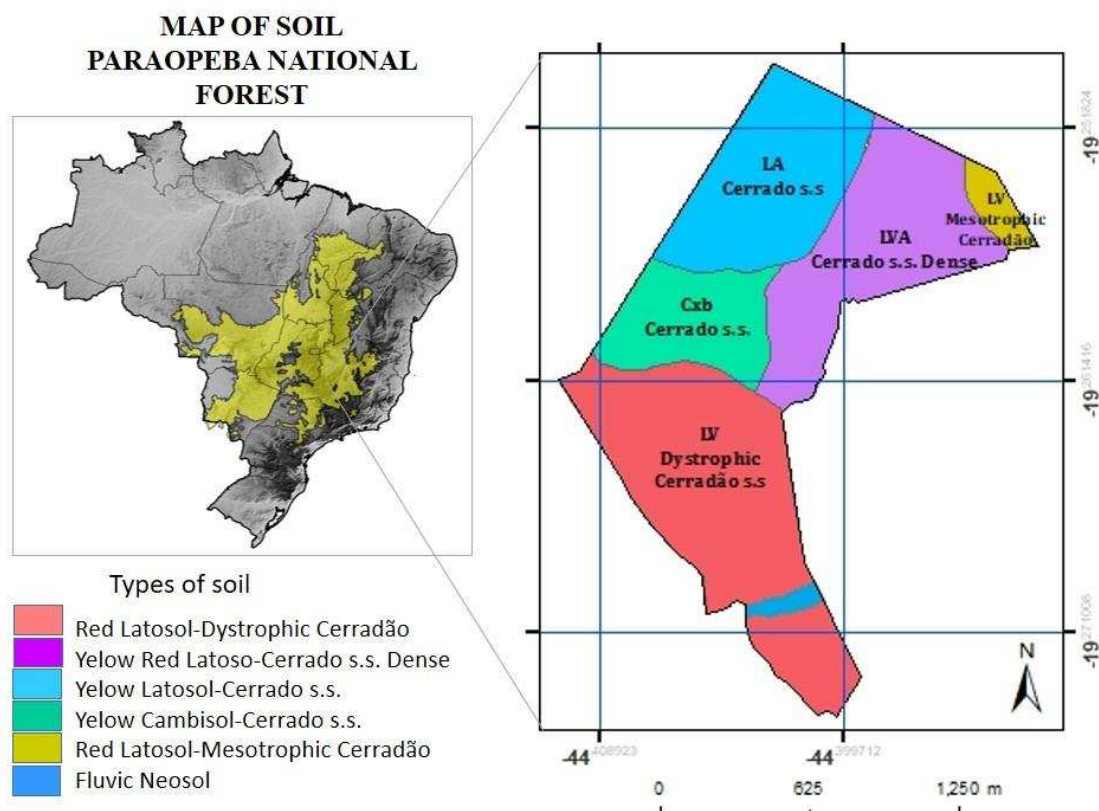


Figura 1. Distribuição das fitofisinomias de Cerrado nos diferentes tipos de solo, FLONA de Paraopeba, Minas Gerais. Adaptado de Neri et al. (2012).

2.3. Coleta de dados

2.3.1. Dados florísticos e características abióticas

Foi utilizado o *pool* de espécies do estrato arbóreo-arbustivo, de 45 parcelas de 20x20 metros, distribuídas em três transectos de três parcelas em cada uma das cinco categorias de solo. Foram registrados todos os indivíduos lenhosos vivos com CAS $\geq$ 10 cm. A classificação das espécies e famílias foi feita de acordo com o APG IV (APG IV 2016). Foram utilizados os dados de solo (quantidade de nitrogênio total, teores de Al^{+3} , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe e pH), além dados de abertura do dossel determinada por meio de fotografias hemisféricas para cada uma das parcelas.

2.4. Análise dos dados

2.4.1. Diversidade taxonômica e padrão de abundância de espécies

Foi calculada a abundância e riqueza de espécies de cada uma das comunidades do Cerrado e utilizadas como variáveis para caracterizar e conhecer a distribuição das espécies em cada tipo de comunidade. A normalidade dos dados foi feita pelo teste de Shapiro-Wilk e o Teste de Dunnett's. Para comparar a diversidade de espécies de cada comunidade utilizaram-se curvas de rarefação. Todas as análises foram feitas na

plataforma R. Para conhecer quais são as espécies que apresentam associação com cada uma das comunidades foi realizada a análise de espécies indicadoras, com o pacote estatístico *indicspecies* na plataforma R.

2.4.2. Análise de ordenação

Para encontrar a dissimilaridade entre as diferentes comunidades do Cerrado foi utilizada a análise de ordenação NMDS (método de escalonamento multidimensional não métrico) na plataforma R, versão 3.3.3. Utilizou-se o coeficiente de *Jaccard* como medida de dissimilaridade e a matriz de abundância de espécies em cada uma das parcelas. Posteriormente foi realizada uma PERMANOVA para confirmar diferenças significativas na composição florística e estrutural entre as comunidades

2.4.3. Diversidade filogenética

A diversidade filogenética (PD) mede a diversidade total de uma comunidade considerando um determinado clado através da soma dos comprimentos de todos os seus ramos (Faith 1992). A PD foi calculada pela quantidade total de distância filogenética entre espécies em cada comunidade através do índice de Diversidade filogenética (PD, do inglês *phylogenetic diversity*) fornecido pelo programa PHYLOCOM 4,2 (WEBB et al. 2008) e pelo pacote “*picante*” no software R, versão 3.3.3. (KEMBEL, 2008; KEMBEL et al., 2010), a partir dos dados de abundância das espécies em cada uma das cinco fitofisionomias. Esta análise foi realizada para conhecer como se dá a diversidade filogenética em cada uma das comunidades. Depois de calculados os índices, foram testados estatisticamente, foi realizada uma ANOVA para os dados com distribuição normal e um teste de Tukey para verificar diferenças entre as comunidades (ZAR, 1996).

2.4.4. Análise filogenética

Para a análise da estrutura filogenética do componente lenhoso (arbóreo-arbustivo) de cada uma das comunidades da FLONA de Paraopeba, foi utilizado o número total das espécies, identificadas até o nível de família, gênero e espécie, a análise da estrutura filogenética foi calculada para cada uma das comunidades. Para isso, foi utilizada a mega árvore R20160415.new 2017, calibrada usando-se o arquivo *ege* fornecido por GASTAUER e MEIRA-NETO (2017), pelo software PHYLOCOM 4.2. (WEBB et al. 2008).

A análise de PD calculada como a soma total dos comprimentos de ramo para as espécies que ocorrem em cada parcela (FAITH, 1992), foi utilizada para calcular os valores padronizados para diversidade filogenética SES.PD. A função ses.pd compara a diversidade filogenética observada com os valores esperados em várias randomizações e permite uma maneira de padronizar a riqueza desigual em amostras, foram realizadas 10000 randomizações, onde os valores negativos indicam que a diversidade filogenética está composta predominantemente por espécies mais próximas filogeneticamente que o esperado ao acaso, enquanto valores positivos indicam que a diversidade filogenética está composta por espécies mais distantes que o esperado ao acaso. A significância dos valores foi calculada pelo teste de Shapiro-Wilk, teste T e Wilcoxon.

Nós analisamos a estrutura filogenética utilizando as seguintes medidas filogenéticas: **MPD** (Mean pairwise distance), é a distância filogenética média entre todas as espécies co-ocorrendo numa unidade amostral; e **MNND** (Mean nearest taxon distance), é a distância filogenética média entre os vizinhos mais próximos dentro de uma unidade amostral comparada com a distância filogenética calculada por simulações ao acaso, A hipótese nula, foi feita pelo Phylocom por meio de dois outros índices: o **NRI** (Net Relatedness Index = índice de parentesco líquido), que mede a distância filogenética média entre dois pares de táxons numa comunidade; e o **NTI** (Nearest taxon index = índice do táxon mais próximo), que mede a distância média entre cada táxon e seu vizinho mais próximo, quantificando a extensão do agrupamento entre táxons terminais. Valores positivos de NRI mostram que as espécies são mais próximas filogeneticamente do que o esperado ao acaso, indicando agrupamento filogenético; valores negativos de NRI mostram que as espécies são mais distantes filogeneticamente do que o esperado ao acaso (WEBB 2000) indicando sobredispersão. O NTI foi proposto como uma medida do agrupamento filogenético terminal em uma filogenia (WEBB 2000), onde estes valores tendem a ser positivos quando há muitas espécies congênicas e confamiliares. Quando isso não ocorre, os valores de NTI tendem a ser negativos (WEBB 2000). A significância foi avaliada por meio de ANOVA e teste de Tukey.

2.4.5. Filobetadiversidade

Esta análise pretende dar a conhecer a afinidade evolutiva entre as comunidades de Cerrado. As fitofisionomias do Cerrado, presentes na FLONA de Paraopeba, foram testadas quanto ao *turnover* filogenético entre elas, a través de comparações par a par que medem a distância filogenética média entre comunidades (FINE and KEMBEL 2011; DUARTE et al. 2014; GASTAUER et al. 2015b). A filobetadiversidade foi calculada utilizando o *software* Phylocom 4.2 (WEBB et al. 2008), através das funções COMDIST para obter o betaNRI e COMDISTNT para calcular betaNTI, relacionados aos clados basais (raiz da árvore filogenética) e clados da história evolutiva recente (topo da árvore) respectivamente (WEBB et al., 2002); para esta análise foram realizados 10000 randomizações, o grau de similaridade ou dissimilaridade filogenética entre as fitofisionomias avaliadas por betaNRI e betaNTI teve sua significância testada considerando-se valores positivos maiores que 1.96 (baixo turnover filogenético) ou valores negativos inferiores que -1.96 (alto turnover filogenético).

2.4.6. Análise de regressão

Foi utilizado um modelo linear generalizado (GLM), para os dados pedológicos e de luz de cada uma das comunidades do Cerrado e o índice NRI, (foram feitas regressões dos teores de solo e abertura do dossel em função do NRI), onde os dados abióticos são explicativos e o NRI seria a resposta, existindo uma relação de dependência das variáveis com a estrutura filogenética das comunidades do Cerrado (NRI), a análise foi realizada com a função modelo linear generalizado (glm) McCullagh, Peter & Nelder, John A. (1983, 1989), estes modelos são ajustados através da estimativa da máxima probabilidade, usamos a informação baseada pelo critério de informação de segunda ordem Akaike (AICc), com a função dredge (pacote MuMin) e como resultado obtivemos o melhor modelo que correlaciona significativamente os atributos abióticos com a estrutura da comunidade, obtidas pelo delta (<2), escolhendo o modelo com delta = 0, no software R versão 3.3.3. Para testar todas as possíveis combinações das variáveis de solo e luz, e poder determinar quais foram as combinações das variáveis que explicariam nossa pergunta, foram escolhidas as que apresentaram um valor de confiança de $p < 0.001$.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterização das comunidades do Cerrado

Nas análises para um pool de 165 espécies arbóreo-arbustivos, foram encontradas 49 famílias e 119 gêneros, apenas 4 morfoespécies foram identificadas até nível de família. As famílias com maior número de representantes foram as Fabaceae (25 gêneros), Vochysiaceae (9), Myrtaceae (8), Asteraceae (8) e Rubiaceae (7); do total de espécies nós encontramos 97 espécies no Cerradão distrófico (CD), 98 no Cerradão mesotrófico (CM), 72 no Cerrado s.s. (Cxb), 73 no Cerrado s.s. (LA) e 109 no Cerrado s.s. denso (LVA). Em relação à diversidade de espécies total, o número de espécies acumulado foi maior nas comunidades de Cerradão distrófico (CD), Cerradão mesotrófico (CM) e Cerrado s.s. denso (LVA), diferindo estas das outras duas comunidades, Cerrado s.s. (LA) e Cerrado s.s. (Cxb).

Foram classificadas como espécies indicadoras ($p=0.001$) para o Cerradão Distrófico (CD) as espécies *Siparuna guianensis*, *Bowdichia virgiloides*, *Copaifera langsdorffii*, *Callisthene major* e *Ouratea castaneifolia*; para Cerradão Mesotrófico (CM), *Magonia pubescens*, *Luehea divaricata*, *Dilodendron bipinatum*, *Myrsine umbellata* e *Rhamnidium elaeocarpum*; para o Cerrado s.s. sobre Cambissolo (Cxb), *Kielmeyera coriacea*, *Erythroxylum campestre*, *Byrsonima crassifolia*, *Miconia albicans* e *Eugenia dysenterica*; para o Cerrado s.s. sobre Latossolo Amarelo (LA), *Baccharis platypoda*, *Pera glabrata*, *Symplocos nitens*, *Curatella americana* e *Salvertia convallariodora*; para Cerrado s.s. denso sobre Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) *Myrsine umbellata*, *Terminalia argentea*, *Tapirira guianensis*, *Lithraea molleoides* e *Erythroxylum daphnitis* Material suplementar (S1). Também foram encontradas espécies como *Bauhinia* sp. e *Handroanthus ochraceus* que não apresentaram associação significativa a nenhuma comunidade por ter ocorrência expressiva em todas elas. As espécies observadas como indicadoras para cada uma das comunidades, mostram preferências das populações das comunidades às variáveis abióticas de cada comunidade.

3.2. Análise de ordenação entre as comunidades de Cerrado

A análise de NMDS revelou que existe diferença significativa ($p<0.001$) entre as comunidades do Cerradão Distrófico (CD), Cerradão Mesotrófico (CM) e o Cerrado s.s. Denso (LVA), existindo uma forte diferença entre o Cerradão Distrófico (CD) e as

outras comunidades. A análise indicou, ainda que existe similaridade na presença de espécies entre as comunidades de Cerrado s.s (Cxb) e Cerrado s.s. (LA), e (Figura 2).

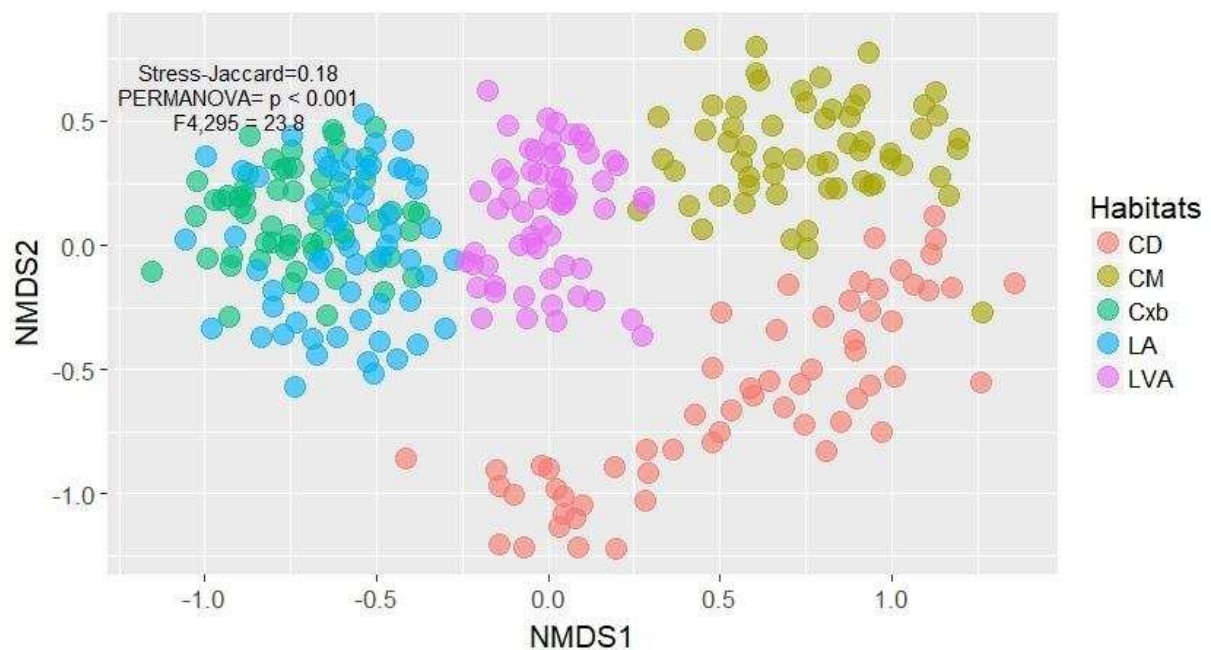


Figura 2. Ordenação não paramétrica NMDS das comunidades de Cerrado, resultado do análise de coeficiente de Jaccard, Cerradão distrófico (CD), Cerradão Mesotrófico (CM), Cerrado s.s. (Cxb), Cerrado s.s. (LA), Cerrado s.s. denso (LVA).

3.3. Diversidade filogenética e Estrutura filogenética

Os resultados da diversidade filogenética (PD) foram significativos ($p < 0.0001$) existindo diferença entre as comunidades de Cerrado. A comunidade com maior diversidade filogenética foi o Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), com a presença de 109 de espécies. A análise “Standardized Size Effect” ses.PD (Swenson 2014), indicou uma média de valores significativamente negativos ($p < 0.001$) diferente de 0, o que indicaria que a Diversidade Filogenética esta composta predominantemente por espécies mais próximas filogeneticamente que esperado ao acaso.

Na estrutura filogenética o componente arbustivo-arbóreo na escala de 20x20 m, os valores de NRI e NTI foram significativos (> 1.96), indicando um agrupamento filogenético nas comunidades de CM (Cerradão Mesotrófico) e Cxb (Cerrado S.S.), pela marcada presença de algumas famílias como: Fabaceae, Myrtaceae, Apocynaceae e Bignoniaceae, a média de valores de NRI e NTI das comunidades LA (Cerrado s.s) e LVA (Cerrado S.S. Denso) foram positivas com valores (< 1.96), o que possivelmente indicaria que as espécies estão mais agrupadas que o esperado ao acaso, e para a

comunidade CD (Cerradão distrófico), LA Cerrado (s.s.) e LVA (Cerrado s.s. denso) as médias de NRI e NTI não foram significativos, indicando que a comunidade não diferiu do aleatório (Tabela 1 e 2).

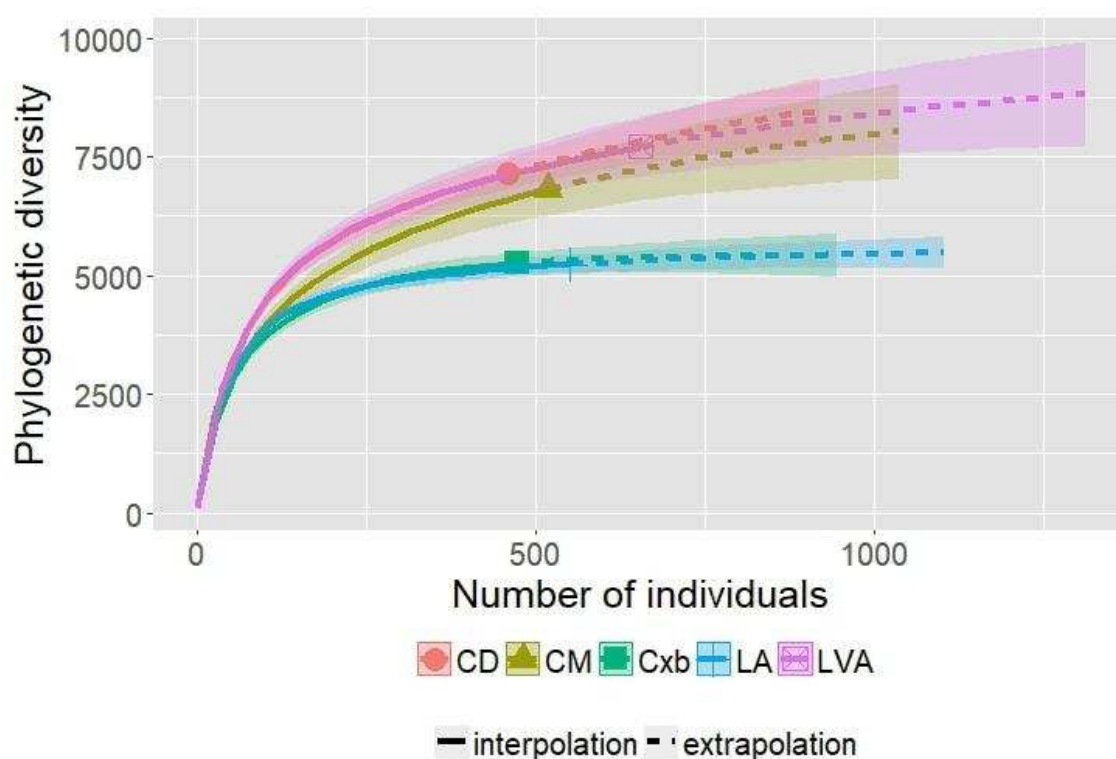


Figura 3. Rarefação em relação ao número de indivíduos com a diversidade filogenética nas cinco comunidades do Cerrado amostradas Cerradão distrófico (CD), Cerradão Mesotrófico (CM), Cerrado s.s. (Cxb), Cerrado s.s. (LA), Cerrado s.s. denso (LVA) geradas a partir de 999 aleatorizações. IC: Intervalos de confiança de 95%.

Tabela 1. Valores NTI (Net Relatedness Index) e NRI (Nearest Taxon Index), PD (desvio padrão) para a comunidade de plantas do Cerrado da Flona de Paraopeba, Minas Gerais, p (nível de significância ≤ 0.05).

		NRI			NTI			Padrão
	N de parcelas	Média	DP	p	Média	DP	p	
CD	15	-0.091	1.52	0.819	0.158	1.65	0.715	-
CM	15	2.196	0.74	0.000	2.059	0.49	0.000	Agrupamento
Cxb	15	2.105	0.88	0.010	2.078	0.71	0.000	Agrupamento
LA	15	0.827	0.60	0.000	1.124	1.12	0.000	Agrupamento
LVA	15	1.168	0.80	0.000	0.730	0.72	0.001	Agrupamento
Global	75							

Tabela 2. Valores MPD (Mean Pairwise Distance) e MNTI (Mean Nearest Neighbor Distance), PD (desvio padrão), P (nível de significância ≤ 0.05).

	N de parcelas	MPD			MNTD		
		Média	DP	p	Média	DP	p
CD	15	227.59	5.94	0.000	150.0843	23.75	0.000
CM	15	220.22	3.88	0.000	122.7321	6.57	0.000
Cxb	15	219.85	4.42	0.000	124.6963	9.80	0.000
LA	15	226.32	2.17	0.000	131.2201	13.94	0.000
LVA	15	226.97	2.47	0.000	131.4271	7.49	0.000
Global	75						

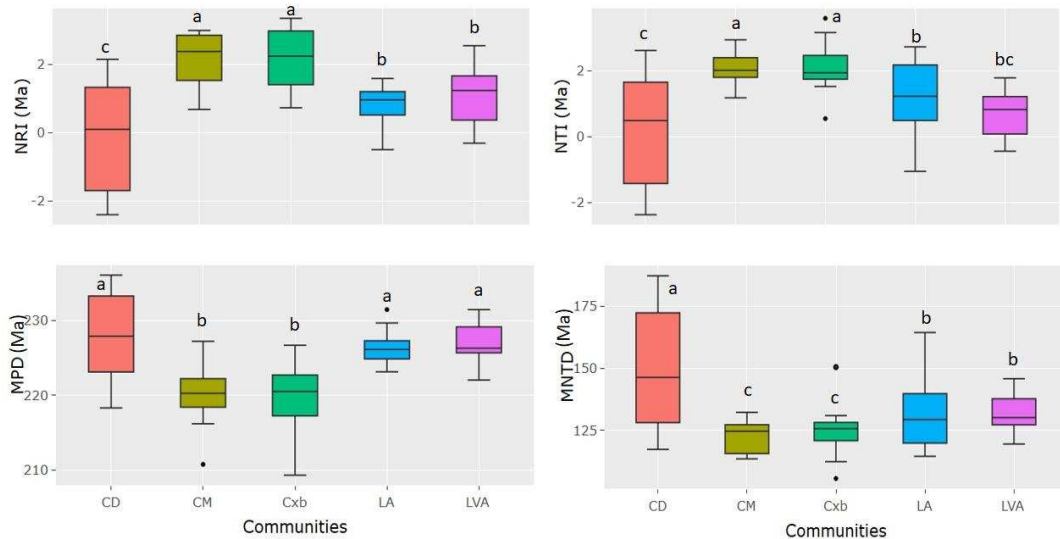


Figura 4. Boxplot que mostra os valores de NRI, NTI, MPD e MNTD para as cinco comunidades do Cerrado, Cerradão distrófico (CD), Cerradão Mesotrófico (CM), Cerrado s.s. (Cxb), Cerrado s.s. (LA), Cerrado s.s. denso (LVA). Diferentes letras indicam diferenças significativas ($P < 0.005$) pelo teste GLM.

3.4. Distância filogenética entre comunidades de Cerrado

As análises de *turnover* filogenético (betaNRI, beta NTI) entre as cinco comunidades que caracterizam as comunidades do Cerrado, com diferentes tipos de solo form significativos. O turnover filogenético para a betaNRI relacionado com toda a árvore filogenética e em direção às pontas dos ramos filogenéticos, apresentaram valores positivos maiores a > 1.96 entre as comunidades LA Latossolo Amarelo e Cxb Cambissolo Amarelo, existindo um baixo turnover filogenético, indicando que elas são mais próximas filogeneticamente que o esperado ao acaso. A betaNTI relacionada com

as pontas dos ramos de toda a árvore filogenética, apresentou valores menores <-1.96 , entre as comunidades CD (Cerradão distrófico), e CXb (Cerrado S.S. ou Cambissolo); CM (Cerradão Mesotrófico), e CXb; CM e LVA (Cerrado S.S. ou Latossolo Vermelho-Amarelo) (**Tabela 3**), apresentando um alto turnover filogenético indicando que elas são mais distantes filogeneticamente do que esperado ao acaso, existindo troca de espécies e linhagens entre elas. Turnovers mais baixos (betaNRI , $\text{betaNTI} >1.96$) indicam uma filtragem ambiental significativa em cada uma das comunidades, mais o solo filtra de forma diferente em cada comunidade; a filtragem ambiental em LA e CXb, solos amarelos é semelhante, diferentemente das outras comunidades, havendo proximidade filogenética de táxons maior que ao acaso (ao ter padrões baixos de turnover de linhagens), tanto nas pontas dos ramos filogenéticos quanto por toda a árvore filogenética. O conjunto de resultados sugere conservação de nicho na comunidade de plantas relacionada ao solo.

Tabela 3. Valores de distância filogenética ente as comunidades, CD, (Cerradão distrófico) Latossolo vermelho; CM, (Cerradão Mesotrófico) Latossolo vermelho; CXb, (Cerrado S.S.) Cambissolo amarelo; LA, (Cerrado S.S) Latossolo amarelo, LVA, (Cerrado S.S. Denso) Latossolo Vermelho amarelo.

Comunidade	Beta MPD-NRI	Beta MNTD-NTI
CD-CM	1.618785	-1.21399
CD-CXb	0.152204	-1.97148
CD-LA	0.144708	-1.35693
CD-LVA	-0.20969	1.49219
CM-CXb	1.377952	-4.11685
CM-LA	1.523271	-2.23481
CM-LVA	1.769754	1.315621
CXb-LA	3.075557	6.873203
CXb-LVA	1.185511	2.519269
LA-LVA	1.352141	2.206671

3.5. Correlação de variáveis abióticas com a estrutura filogenética das comunidades do Cerrado

O alumínio, matéria orgânica, magnésio, nitrogênio total e a abertura do dossel são as variáveis que melhor explicam a estruturação das comunidades do Cerrado do ponto de vista filogenético. A partir dos melhores modelos, verificamos relação significativa

positiva entre o NRI e magnésio, nitrogênio total e abertura do dossel, e relação significativa negativa com o alumínio e a matéria orgânica (**Figura 5**).

As comunidades do Cerrado mostraram diferenças em relação à estruturação de suas comunidades. A estruturação da comunidade do Cerradão Distrófico estaria sendo influenciadas por níveis baixos de magnésio e nitrogênio no solo, altos níveis de matéria orgânica, assim como a presença de alumínio e uma menor abertura do dossel, o que estaria levando a uma dispersão filogenética das espécies; o Cerradão Mesotrófico estaria sendo influenciada por níveis de nitrogênio, magnésio e matéria orgânica altos, ausência de alumínio no solo, levando a um agrupamento filogenético das espécies. O Cerrado s.s. sobre cambisolo (Cxb), apresentou agrupamento filogenético de espécies onde a distribuição das espécies poderia ser influenciada por níveis altos de alumínio, uma maior abertura do dossel e níveis baixos de nitrogênio, magnésio e matéria orgânica; o Cerrado s.s. denso sobre Latossolo Amarelo seria influenciada por níveis altos de alumínio, maior abertura do dossel, níveis baixos de magnésio, matéria orgânica e nitrogênio, estas características levariam a um agrupamento filogenético de espécies. O Cerrado s.s. sobre Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta igualmente agrupamento filogenético de espécies influenciadas por níveis altos de alumínio, nitrogênio, matéria orgânica e níveis baixos de magnésio baixo uma menor abertura do dossel.

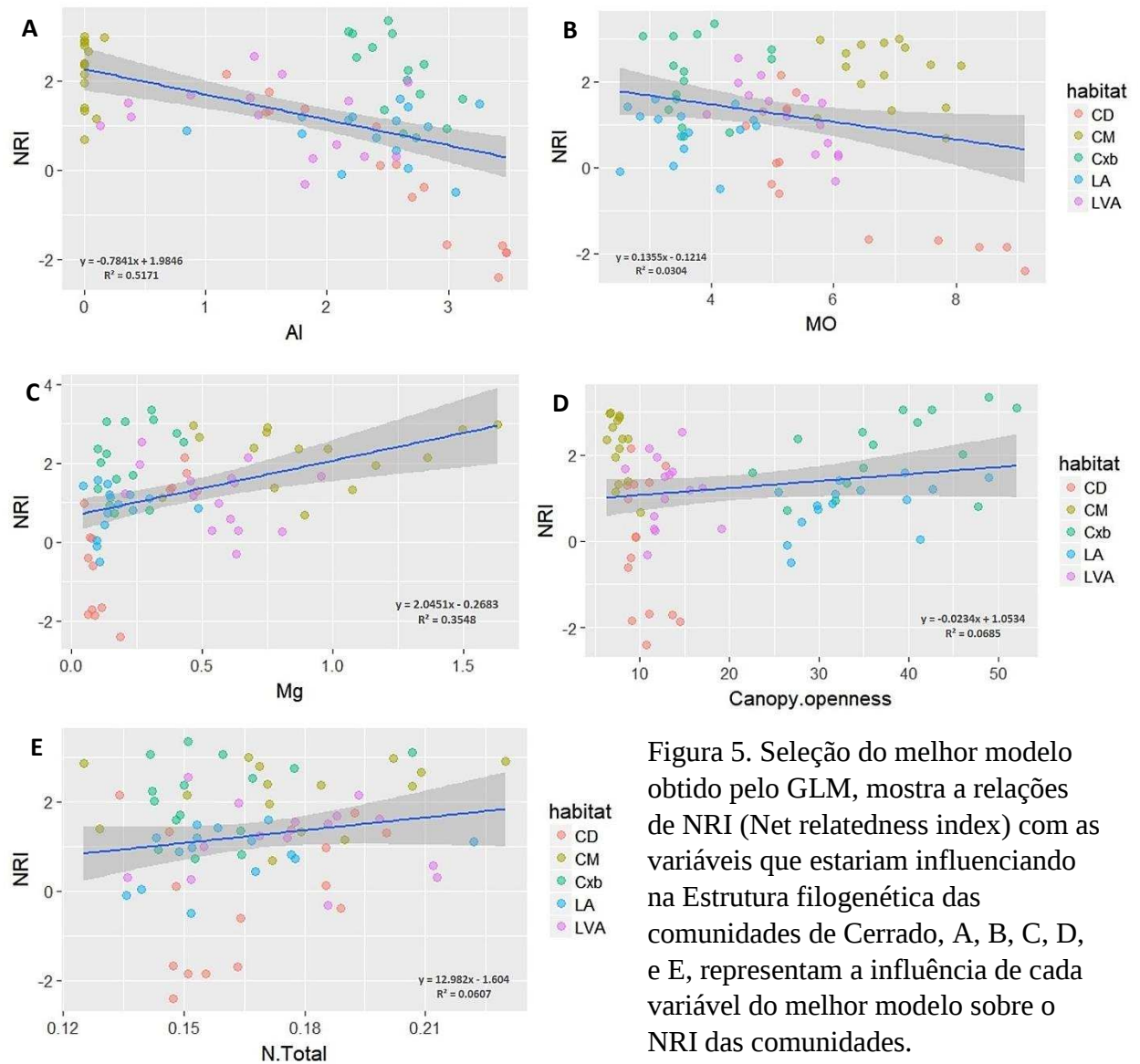


Figura 5. Seleção do melhor modelo obtido pelo GLM, mostra a relações de NRI (Net relatedness index) com as variáveis que estariam influenciando na Estrutura filogenética das comunidades de Cerrado, A, B, C, D, e E, representam a influência de cada variável do melhor modelo sobre o NRI das comunidades.

IV. DISCUSSÃO

A diversidade de espécies nas comunidades do Cerrado mostrou diferenças. A comunidade com maior riqueza de espécies foi o Cerrado s.s. Denso (LVA), mas foram encontradas diferenças significativas entre os cinco tipos de comunidades do Cerrado em termos de abundância e de composição (NMDS), indicando que apenas entre as comunidades Cxb e LA existe alta similaridade florística. Essa diferença florística entre os tipos comunidades é comum no Cerrado, que é uma vegetação heterogênea que se relaciona à heterogeneidade dos solos (GOODLAND & POLARD, 1993; MEIRA NETO et al., 2017).

A comunidade com maior diversidade filogenética foi o Cerrado S.S. Denso (LVA). O “Standardized Size Effect” ses.PD mostrou que a diversidade filogenética das comunidades do Cerrado estariam predominantemente composta por espécies mais próximas filogeneticamente que esperado ao acaso, mostrando nas análises de estrutura filogenética um padrão de agrupamento filogenético entre as comunidades do Cerrado, exceto o Cerradão distrófico, onde os resultados não foram significativos. O turnover filogenético (beta NRI, beta NTI) mostrou que entre as comunidades de Cerrado s.s. (Cxb) e Cerrado s.s. (LA) existe um baixo turnover, o que indicaria que estas comunidades estão mais próximas filogeneticamente do que o esperado ao acaso. Nesse caso, a co-ocorrência de espécies sugere que compartilham características semelhantes necessárias para tolerar fatores que causam filtragem abiótica e, como consequência, as espécies que coexistem são filogeneticamente agrupadas (SWENSON et al., 2007), uma vez que há conservantismo de nicho nas comunidades estudadas. Nosso resultado diferiu dos resultados anteriores de SILVA & BATALHA (2008) que encontraram sobredispersão filogenética para as comunidades do Cerrado, sugerindo três explicações para esse padrão: exclusão competitiva, ataques de herbívoros ou agentes patógenos. Dentre os nossos resultados, os que mais se aproximam dos resultados de SILVA & BATALHA (2008) são os do Cerradão Distrófico, onde é mais sobredisperso que as outras comunidades, possivelmente por efeito de competição e, ou, de efeitos dependentes de densidade (CAVENDER-BARES et al., 2009).

Segundo CRISP & COOK (2012), se o nicho que está sendo habitável apresenta um padrão de conservantismo de nicho, poderia ser resultado de um *trade-off* fecundidade-tolerância utilizado para proteger funções vitais contra fatores ambientais. O Cerrado savânico é um exemplo de ambiente filtrante que tem solos ácidos, com Al^{3+} , e luz

excessiva em que espécies que selecionaram traços relacionados à tolerância (e.g., quanto mais tolerante uma espécie, maior a provisão de recursos na semente, menores as folhas) podem ter vantagens. Nos Cerradões, solos com mais recursos beneficiam as espécies com caracteres de fecundidade (i.e., quanto mais fecunda uma espécie, maior produção de sementes, cada semente com menor provisão de recursos). Em ambos os casos há uma filtragem ambiental e o resultado deve ser um agrupamento filogenético resultante do conservantismo de nicho.

Os resultados de estrutura filogenética indicaram um agrupamento filogenético das comunidades do Cerradão Mesotrófico (CM) que apresentam uma menor abertura de dossel, portanto, maior efeito do adensamento de plantas. Isso significa que em ambientes fechados, com altos teores de matéria orgânica no solo e ausência de alumínio, estabelecem-se espécies com maior fecundidade, com maior produção de sementes, com sementes com menos provisões. No lado tolerante do *trade-off*, o Cerrado s.s. Cambissolo (Cxb) apresenta características ambientais como níveis altos de alumínio e valores baixos de nutrientes no solo, o que beneficiaria espécies com sementes com maior provisão de recursos num ambiente de estresse nutricional, ao qual ainda se somam o estresse de altas temperaturas e o estresse foto-oxidante da luz excessiva (KSAS et al. 2015; BITA & GERARTS, 2013).

A distribuição das espécies nas comunidades do Cerrado estaria associada a níveis variáveis de recursos do solo. Os nossos resultados sugerem que o Al^{3+} é determinante da distribuição das espécies em escala local, coincidindo com os resultados obtidos por (SCHREEG et al. 2010). Isso pode ser observado com mais detalhamento nos resultados da análise de espécies indicadoras onde se mostra o tipo da afinidade que as espécies apresentam em cada uma das comunidades (Apêndice S1). TOLENTINO (2015) mostrou que o solo e luz são variáveis fortes nas alterações da funcionalidade ecossistêmica do Cerrado. As plantas do Cerrado estariam selecionando traços que lhes permitam ocorrer em locais com diferentes disponibilidades de luz, alto teores de Al^{3+} e solos pobres, onde espécies com caracteres tolerantes do *trade-off* tolerância-fecundidade teriam uma compensação para poder superar restrições do habitat. No outro extremo do *trade-off* fecundidade-tolerância, a ausência de Al^{3+} no solos e os solos mais ricos em nutrientes do Cerradão Mesotrófico beneficiariam as espécies mais fecundas, com caracteres como sementes mais numerosas e com menos recursos, aproveitando mais eficientemente os solos férteis. Assim, com relação ao *trade-off* fecundidade-

tolerância, tanto no Cerrado savânico quanto no Cerradão mesotrófico, as espécies que compõem as comunidades do Cerrado são aquelas que atravessam os filtros (WEBB et al., 2002).

Os resultados que pudemos encontrar para a similaridade entre a comunidade de Cxb e LA por meio de dois métodos um para NMDS e outro para filobetadiversidade, mostra a importância de estes métodos filogenéticos para estudos mais profundos de comunidades. A análise de filobetadiversidade relacionada ao nós terminais e aos nós basais, sugere que o solo agiu como filtro ambiental similar nas comunidades Cxb e LA, apresentando um baixo *turnover* filogenético entre elas, mostrando que as espécies estão mais próximas filogeneticamente que o esperado ao acaso.

As comunidades de Cerradão Distrófico não apresentaram agrupamento filogenético como as demais comunidades. Os altos valores de Al^{3+} no solo são estressantes, mas os altos teores de nitrogênio inorgânico (i.e., amônio + nitrato) em seus solos (MEIRA-NETO et al. 2017) são recursos fundamentais no crescimento e desenvolvimento das plantas. Essas características intermediárias dos solos de Cerradão distrófico sugerem que o *trade-off* fecundidade-tolerância não predomina na montagem de suas comunidades como predomina nas demais comunidades. O Cerradão Distrófico tem, em média, comunidades com filogenias sem agrupamento ou sobredispersão, o que sugere ausência de filtragem ambiental de traços que conferem tolerância, ausência de filtragem ambiental para traços que conferem fecundidade, bem como a não-predominância de competição como regra de montagem de suas comunidades.

O Cerrado s.s. sobre Cambisol (Cxb), apresentou agrupamento filogenético de espécies que sugere uma distribuição de espécies filtrada por níveis altos de Al^{3+} e pela escassez de nutrientes no solo. O mesmo pode ser dito para o Cerrado s.s. denso sobre Latossolo Amarelo o que causaria agrupamento filogenético de espécies. De maneira similar às comunidades savânicas sobre Cambissolo e sobre Latossolo Amarelo, o Cerrado s.s. sobre Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta agrupamento filogenético de espécies.

V. CONCLUSÕES GERAIS

Nossos resultados mostram que no Cerrado existe um processo de conservantismo de nicho ecológico que acompanha a história evolutiva das espécies, o que sugere a presença de fortes filtros ambientais que causam agrupamento filogenético de espécies que compartilham traços funcionais.

A evidência de que o filtro ambiental é um fator importante durante a história evolutiva das espécies, seria a correlação que existe entre a distância filogenética e as características ambientais do Cerrado, sendo que os filtros ambientais tendem a reunir espécies funcionalmente similares, com base em suas tolerâncias e condições abióticas, causando agrupamento filogenético num contexto de conservantismo de nicho.

Neste estudo os resultados mostraram que as comunidades de espécies arbóreo-arbustivas do Cerrado da FLONA de Paraopeba estão filogeneticamente agrupadas em suas comunidades, exceto nas comunidades de Cerradão distrófico. Isso se deve predominantemente aos traços funcionais relacionados ao *trade-off* fecundidade-tolerância pelo qual em solos com menos férteis predominam espécies com sementes com maior quantidade de recursos e nos solos mais férteis predominam espécies que produzem grandes quantidades de sementes com poucos recursos. Tanto a filtragem ambiental que beneficia caracteres relacionados à tolerância quanto a filtragem ambiental que beneficia caracteres relacionados à fecundidade podem explicar o agrupamento filogenético que foi observado em Cerrado savânico e no Cerradão Mesotrófico num contexto de conservantismo de nicho.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARALOTO C., HARDY O. J., PAINE C. E. T., DEXTER K. G., CRUAUD C., DUNNING L. T., GONZALEZ M. A., MOLINO JEAN-FRANÇOIS, SABATIER DANIEL, SAVOLAINEN V., CHAVE J. (2012). Using functional traits and phylogenetic trees to examine the assembly of tropical tree communities. *Journal of Ecology*, 100 (3), 690-701. ISSN 0022-0477
- BATALHA, M; SILVA I; CIANCIARUSO, M; FRANC, H; CARVALHO G. 2011. Phylogeny, traits, environment, and space in cerrado plant communities at Emas National Park (Brazil). *Flora*, ELSEVIER.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2002 Biodiversidade brasileira: Avaliação e identificação de áreas prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Brasília: MMA/SBF. 404p.
- BITA C. E. & GERATS T. (2013) Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Front Plant Sci* doi: [10.3389/fpls.2013.00273](https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273).
- CARVALHO, G.; BATALHA, M.; SILVA, I.; CIANCIARUSO, M.; PETCHEY, O. 2014. Are fire, soil fertility and toxicity, water availability, plant functional diversity, and litter decomposition related in a Neotropical savanna? *Community ecology*. Oecologia, Springer.
- CAVENDER-BARES, J.; KITAJAMA K.; BAZZAR F. 2004. Multiple trait associations in relation to habitat differentiation among 17 Floridian oak species. *Ecological Monographs*, 74(4), 2004, pp. 635–662.
- CAVENDER-BARES, J., KOZAK, K. H., FINE, P. V. A. AND KEMBEL, S. W. 2009. The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology letters* 12, 693–715.
- CIANCIARUSO, MV. Et al. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica*. Vol. 9, Nº3. 93-103 p.
- COUTINHO, L. 1978. O conceito de Cerrado. *Revista brasileira, Bot.* 1:17-23.
- CRAINE, J.M., 2009. *Resource Strategies of Wild Plants*. Princeton University, New Jersey.
- CRISP, M. AND COOK, L., 2012. Phylogenetic niche conservatism: what are the underlying evolutionary and ecological causes? *New phytologist* doi: [10.1111/j.1469-8137.2012.04298.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04298.x)
- DUARTE, L.; BERGAMIN R.; MARCILIO-SILVA V.; SEGER, G.; MARQUES M. 2014. Phylobetadiversity among forest types in the Brazilian Atlantic forest Complex. *Plos One*, Vol. 9, Nº 8.e105043.
- EMBRAPA 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 412 p.

- FAITH, D. P. 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61, 1–10.
- FINE P.; KEMBEL S. 2011. Phylogenetic community structure and phylogenetic turnover across space and edaphic gradients in western Amazonian tree communities. *Ecography*, Vol. 34, 552-565 p.
- GASTAUER, M. & MEIRA-NETO, J. 2013. Interactions, environmental supporting and chance: phylostructure of a tropical forest assembly. *Folia Geobotanica*. Springer.
- GASTAUER, M & MEIRA-NETO, J. 2015. Estrutura filogenética de comunidades no Cerrado: Introdução e estudo de caso. *Fitossociologia no Brasil, Métodos de estudo de caso*, Volume II. Editora UFV.
- GASTAUER M. & MEIRA-NETO J. A. A., 2016, An enhanced calibration a recently released megatree for the analysis of phylogenetic diversity, *Brazilian Journal of Biology*.
- GOTTSBERGER, G., SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I., 2006. Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation, Origin, Structure, Dynamics and Plant Use, vol. 1. Reta, Ulm.
- GOODLAND R. & POLLARD R. 1973 The Brazilian Cerrado Vegetation: A Fertility Gradient. *Journal of Ecology* doi: 10.2307/2258929.
- IBAMA. Histórico: Unidade do IBAMA em Paraopeba, MG. Sem data.
- JANSSENS, F., PETERS, A., TALLOWIN, J.R.B., BAKKER, J.P., BEKKER, R.M., FILLAT, F., OOMES, M.J.M., 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant Soil* 202, 69–78.
- JANSEN SS, DESSEIN R, PIESCHAERT E, ROBBRECHT E., SMETS E. 2000. Aluminium accumulation in leaves of Rubiaceae: Systematic and phylogenetic implications. *Ann. Bot. (London)* 85: 91-101.
- JANSEN S, BROADLEY MR, ROBBRECHT E, SMETS 2002. Aluminium hyperaccumulation in angiosperms: a review of its phylogenetic significance. *Bot. Rev.* 68: 235-269.
- JANSEN, S; WATANABE, T; SMETS, E. 2002. Aluminium accumulation in leaves of 127 species in Melastomataceae with comments on the other Myrtales. *Annals of Botany* 90:53-64. DOI: 10.1093/aob/mcf142.
- KSAS B., BECUWE N., CHEVALIER A. & HAVAUX M. 2015 Plant tolerance to excess light energy and photooxidative damage relies on plastoquinone biosynthesis. *Sci Rep* doi: 10.1038/srep10919.
- KEMBEL, S.; HUBBELL, S. 2006. The phylogenetic structure of a neotropical forest tree community. *Ecology*, 87(7) s87-s99 p.
- KRAFT, N.; CORNWELL, W.; WEBB, C.; ACKERLY, D. 2007. Trait evolution, community assembly, and the phylogenetic structure of Ecological Communities. *The American Naturalist*. Vol 170, N°2. 272-283 p.

- KRAFT N.; CRUTSINGER G.; FORRESTEL E.; EMERY N. 2014. Functional traits differences and outcome of community assembly: an experimental test with vernal pool annual plants. *Oikos* Vol. 123. 1391-1399 p.
- LAURANCE, W.F.; OLIVEIRA, A.A.; LAURANCE, S.G.; CONDIT, R.; DICK, C.W.; ANDRADE, A.; NASCIMENTO, H.E.M.; LOVEJOY, T.E. & RIBEIRO, J.E.L.S. 2005. Altered tree communities in undisturbed Amazonian Forests: A consequence of Global Change? *Biotropica* 37(2): 160-162.
- MACARTHUR, R.W., MACARTHUR, J.W., 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42, 594–598.
- MEIRA-NETO J. A. A., TOLENTINO G. S., SILVA M. C. N. A. DA ET AL. 2017. Functional antagonism between nitrogen-fixing leguminous trees and calcicole-drought-tolerant trees in the Cerrado. *Acta Botanica Brasilica* 31, 11–18.
- MOTTA, P.E.F.; CURI N. & FRANZMEIER D.P. 2002. Relation of soil and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. Pp. 13-32. In: Oliveira, PS & Marquis, RJ. *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. New York, Columbia University Press, cap. 2, p.13-32.
- MULLER-LANDAU H. C 2008 Colonization-related trade-offs in tropical forests and their role in the maintenance of plant species diversity. In: *Tropical forest community ecology* pp. 182–195 Blackwell Publishing, Chichester.
- MULLER-LANDAU H. C. 2010 The tolerance–fecundity trade-off and the maintenance of diversity in seed size. *Proc Natl Acad Sci U S A* **107**, 4242–4247.
- NATHAN, J.B. KRAFT, PETER, B. ADLER, OSCAR GODOY, EMILY C. JAMES, STEVE FULLER AND JONATHAN M. LEVINE. 2014. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor, *Functional Ecology*, British Ecological Society.
- NERI, A.V. 2007, Gradiente pedológico-vegetacional de Cerrado em Paraopeba, MG. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 125p.
- NERI, A. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, A. F.; SOUZA, A. L.; FERREIRA-JUNIOR, W. G.; MEIRA-NETO, J. A. A. 2012. The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area of Brazilian Cerrado vegetation. *Edinburgh Journal of Botany*, v.69, n.1, p.1-27.
- OLIVARES, E; COLONNELLO, G; PEÑA, E; ROFRIGUEZ, L. 2010. Aluminum accumulation in nineteen Melastomataceae species from three contrasting plant formations in acid soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2010, 173, 453–460 DOI: 10.1002/jpln.200900152
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. 2002. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. p.91-120. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, 367p.
- PEREIRA, P.S. Influência de fatores abióticos na diversidade de espécies do estrato herbáceo-subarbustivo em cerrado, Flona de Paraopeba, MG. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 85 p.

- PYRON, A. R.; COSTA G.; PATTEN M.; BURBRINK F. 2014. Phylogenetic niche conservatism and the evolutionary basis of ecological speciation. *Biological Reviews*. Cambridge Philosophical Society.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa, 2008. p.151-212.
- RIZZINI, C.T. 1992. *Tratado de Fitogeografia do Brasil*. (2ª ed.). Rio de Janeiro: Âmbito Cultural.
- SCHREEG L.; KRESS W.; ERICKSON D.; SWENSON N. 2010. Phylogenetic Analysis of local –scale tree soil association in Lowland Moist tropical Forest. *Plos One*, Vol. 5, e13685.
- SILVA JÚNIOR, M.C. 1984. Composição florística, estrutura e parâmetros fitossociológicos do cerrado e sua relação com o solo na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba-MG. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 130p.
- SILVA, I. AND BATALHA, M. 2008. Soil-vegetation relationships in cerrados under diferente fire frequencies. *Plant and soil*. 311(1-2), 87.
- SILVA I. AND BATALHA M. 2009. Phylogenetic overdispersion of plant species in southern Brazilian savannas. *Braz. J. Biol.*, 69(3): 843-849.
- SILVA C. 2016 Estrutura filogenética e variação de caracteres funcionais em Cerrados Rupestres do Brasil Central. Dissertação (Mestre em Ecologia e Evolução) Universidade Federal de Goiás 67 p.
- SIMON MF, GREYER R, DE QUEIROZ LP, SKEMA C, PENNINGTON RT, HUGHES CE. 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(48), 20359-20364.
- SOUZA, V.C. & LORENZI, H. 2005. *Botânica Sistemática guia ilustrado para identificação das Famílias de Angiospermas da Flora Brasileira*, baseado em APG II. Nova Odesa, Instituto Plantarum.
- SUNDARAM, B. & PARTHASARATHY, N., 2002. Tree growth, mortality and recruitment in four tropical wet evergreen forest sites of Kolli hills, eastern ghats, India. *Tropical Ecology* 43(2): 275-286.
- SWENSON, N; ENQUIST, B; THOMPSON, J; ZIMMERMAN, J., 2007. The influence of spatial and size on phylogenetic relatedness in tropical forest communities. *Ecology*, 88. pp. 1700-1780.
- TOLENTINO SOARES G. 2011. Composição e partição de nicho em gradientes de solo e luz no Cerrado. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 80 p.
- TOLENTINO SOARES G. 2015. Grupos funcionais, uso dos recursos e diversidade funcional de plantas lenhosas no Cerrado. Dissertação (Doctorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 69 p.

WEBB CAMPBELL O. 2000. Exploring the phylogenetic Structure of Ecological Communities: An example for Rain Forest Trees. *The America Naturalist*. Vol. 156 N°2. 145-155 p.

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK M. A.; DONOGHUE M. J. 2002. Phylogenies and community ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v. 33, n. 1, p. 475-505.

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D. & KEMBEL, S. W. 2008. PHYLOCOM: software for the analysis of community phylogenetic structure and trait evolution. *Bioinformatics* 24: 2098-2100. Version 4,1 [Online] disponivel em <http://www.phylodiversity.net/phylocom/>. Accesed: Novembro 19, 2016.

ZAR JH. 2010. Biostatistical analysis. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River.

VII. Informação suplementaria

Apendice SI. Espécies indicadoras das cinco comunidades do Cerrado estudadas em Paraopeba, Minas Gerais. Grupos funcionais Dry=espécies de florestas secas, Legumes=especies leguminosas, Resistentes ao Al⁺³=especies resistentes ao alumínio, CD, (Cerradão distrófico) Latossolo vermelho; CM, (Cerradão Mesotrófico) Latossolo vermelho; CXb, (Cerrado S.S.) Cambissolo amarelo; LA, (Cerrado S.S) Latossolo amarelo, LVA, (Cerrado S.S. Denso) Latossolo Vermelho amarelo, P= nível de significância (≤ 0.05), os grupos funcionais foram obtidos de Meira-Neto et al., 2017.

Comunidade	Família	Espécie	Grupos funcionais	Frequencia	p-value
CD	Siparunaceae	<i>Siparuna guianensis</i>	Dry	78	0.001
CD	Fabaceae	<i>Bowdichia virgilioides</i>	Legumes	90	0.001
CD	Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Leguminosas	54	0.001
CD	Vochysiaceae	<i>Callisthene major</i>	Resistente ao Al ⁺³	72	0.001
CD	Ochnaceae	<i>Ouratea castaneifolia</i>	Dry	39	0.001
CD	Chrysobalanaceae	<i>Couepia grandiflora</i>	Outro	48	0.001
CD	Moraceae	<i>Brosimum gaudichaudii</i>	Outro	26	0.001
CD	Ebenaceae	<i>Diospyros hispida</i>	Dry	13	0.001
CD	Fabaceae	<i>Dalbergia miscolobium</i>	Leguminosas	18	0.001
CD	Lauraceae	<i>Ocotea sp</i>	Outro	13	0.001
CM	Sapindaceae	<i>Magonia pubescens</i>	Resistente ao Al ⁺³	62	0.001
CM	Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	Dry	92	0.001
CM	Sapindaceae	<i>Dilodendron bipinatum</i>	Dry	44	0.001

CM	Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Dry	57	0.001
CM	Rhamnaceae	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	Dry	43	0.001
CM	Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i>	Dry	214	0.001
CM	Salicaceae	<i>Casearia rupestris</i>	Dry	25	0.001
CM	Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseoalba</i>	Dry	40	0.001
CM	Meliaceae	<i>Trichilia pallida</i>	Dry	32	0.001
CM	Rubiaceae	<i>Guettarda viburnoides</i>	Outro	33	0.001
Cxb	Clusiaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i>	Resistente ao Al ⁺³	108	0.001
Cxb	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum campestre</i>	Outro	70	0.001
Cxb	Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Resistente ao Al ⁺³	134	0.001
Cxb	Melastomataceae	<i>Miconia albicans</i>	Resistente ao Al ⁺³	165	0.001
Cxb	Myrtaceae	<i>Eugenia dysenterica</i>	Resistente ao Al ⁺³	158	0.001
Cxb	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum suberosum</i>	Outro	75	0.001
Cxb	Vochysiaceae	<i>Qualea parviflora</i>	Resistente ao Al ⁺³	160	0.001
Cxb	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum tortuosum</i>	Outro	37	0.001
Cxb	Malpighiaceae	<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	Outro	54	0.001
Cxb	Fabaceae	<i>Dimorphandra mollis</i>	Leguminosas	44	0.001
LA	Asteraceae	<i>Baccharis platypoda</i>	Outro	35	0.001

LA	Euphorbiaceae	<i>Pera glabrata</i>	Resistente ao Al ⁺³	160	0.001
LA	Symplocaceae	<i>Symplocos nitens</i>	Dry	45	0.001
LA	Dilleniaceae	<i>Curatela americana</i>	Resistente ao Al ⁺³	92	0.001
LA	Vochysiaceae	<i>Salvertia convallariodora</i>	Outra	28	0.001
LA	Primulaceae	<i>Myrsine guianensis</i>	Dry	36	0.001
LA	Fabaceae	<i>Tachigali vulgaris</i>	Leguminosas	39	0.001
LA	Dilleniaceae	<i>Davilla elliptica</i>	Outra	15	0.001
LA	Melastomataceae	<i>Leandra sp.</i>	Outra	32	0.002
LA	Fabaceae	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	Leguminosas	31	0.001
LVA	Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i>	Resistente ao Al ⁺³	63	0.001
LVA	Combretaceae	<i>Terminalia argentea</i>	Dry	107	0.001
LVA	Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i>	Resistente ao Al ⁺³	108	0.001
LVA	Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i>	Dry	35	0.001
LVA	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum daphnites</i>	Resistente ao Al ⁺³	161	0.001
LVA	Rubiaceae	<i>Rudgea viburnoides</i>	Resistente ao Al ⁺³	113	0.001
LVA	Myrtaceae	<i>Myrcia tomentosa</i>	Dry	111	0.001

LVA	Styracaceae	<i>Styrax camporum</i>	Resistente ao Al ⁺³	117	0.001
LVA	Fabaceae	<i>Platypodium elegans</i>	Leguminosas	115	0.001
LVA	Vochysiaceae	<i>Qualea grandiflora</i>	Resistente ao Al ⁺³	166	0.001