



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
MESTRADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
BOTÂNICA TROPICAL**



**LUCÍULA CUNHA BARBOSA**

**Efeito do fogo na ecologia funcional e filogenética  
em uma vegetação de canga na Serra dos Carajás**

**BELÉM  
2019**

**LUCÍULA CUNHA BARBOSA**

**Efeito do fogo na ecologia funcional e filogenética  
em uma vegetação de canga na Serra dos Carajás**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e o Museu Emílio Goeldi, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciências Biológicas - Botânica Tropical, para obtenção do título de mestre. Área de concentração: Ecologia, Manejo e Conservação.

Orientador: Dr. Pedro Lage Viana

Co-orientador: Dr. Markus Gastauer

**BELÉM**

**2019**

---

Barbosa, Lucíula Cunha

Efeito do fogo na ecologia funcional e filogenética em uma vegetação de canga na Serra dos Carajás./ Lucíula Cunha Barbosa; Orientação de Pedro Lage Viana– Belém, 2019.

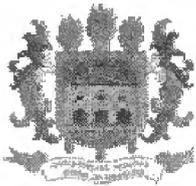
56f.: il.

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Botânica Tropical da Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

1. Canga- Serra dos Carajás. 2. Diversidade filogenética. I. Viana, Pedro Lage, Orient. II. Título.

CDD 574.5

---



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
MESTRADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
BOTÂNICA TROPICAL



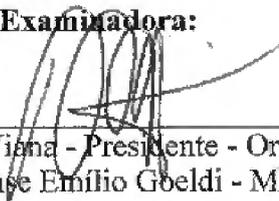
LUCÍULA CUNHA BARBOSA

**Efeito do fogo na ecologia funcional e filogenética em uma vegetação  
de canga na Serra dos Carajás**

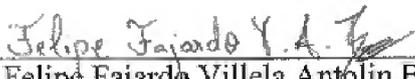
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Botânica Tropical. Área de concentração: Ecologia, Manejo e Conservação, para obtenção do título de mestre.

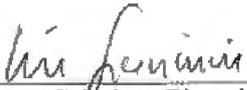
Aprovada em fevereiro 2019.

**Banca Examinadora:**

  
Dr. Pedro Lage Viana - Presidente - Orientador  
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG

  
Dra. Grazielle Sales Teodoro – 1ª Examinador  
Universidade Federal do Pará - UFPA

  
Dr. Felipe Fajardo Villela Antolin Barberena – 2ª Examinador  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

  
Dra. Tereza Cristina Giannini – 3ª Examinador  
Instituto Tecnológico Vale – ITV

Dr. Nara Furtado de Oliveira Mota – Suplente  
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) pela oportunidade de realização do curso de Pós-graduação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao Instituto Tecnológico Vale – Desenvolvimento Sustentável (ITV-DS) pelo financiamento do projeto.

Aos meus pais (Lúcia e Miguel) e marido (Augusto Beckman) pelo apoio e incentivo nesta trajetória.

Aos meus orientadores, Pedro Viana e Markus Gastauer por se disponibilizarem em me orientar, pela confiança e paciência durante o processo de aprendizado. Obrigada pela oportunidade de trabalhar com vocês.

Ao chefe da FLONA Carajás Marcel Régis pelo suporte na entrada das áreas para o desenvolvimento do estudo e aos funcionários do ICMBio, Jayme Júnior e Alyson de Souza pelo suporte com alojamentos.

Aos meus colegas de coleta Pedro Neto, Alexandre Oliveira e Elielson Souza pela enorme ajuda em campo e no herbário.

As minhas amigas Layse Lopes e Ana Luisa Lima, que me acompanharam e dividiram toda a trajetória de conhecimento ao longo do mestrado.

À minha turma de mestrado, ótimos amigos que me acompanharam nessa caminhada, e de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente com este trabalho, fica aqui registrado meu agradecimento.

## Lista de figuras e tabelas

- Figura 1:** Localização dos principais platôs de canga na Serra do Carajás, com indicação da localização do platô N1, área onde foram instaladas as parcelas. Modificado de Mota et al. (2018). .....25
- Figura 2:** Aspecto fisionômico da canga couraçada na área de estudo. A-B: áreas sem ocorrência de queimada, no período chuvoso (A) e período seco (B); C: parcela estabelecida em área sem ocorrência de queimada; D: parcela em área com ocorrência de queimada; E: levantamento de dados em campo: Fotos: A,C,E: Pedro Lage Viana; B,D: Mirna Yuri da Silva. ....27
- Figura 3:** Curva de acumulação de espécies para amostragem das parcelas portratamento realizado no platô N1 para áreas com indício de queimada (n=10) e áreas sem indício de queimada (n=10), localizado na Serra do Carajás, Pará.....32
- Figura 4:** *Boxplots* da riqueza de espécies por tratamento (cf=com ocorrência de queimada; sf=sem ocorrência de queimada). ....33
- Figura 5:** *Boxplots* dos índices de diversidade taxonômica (Shannon e Simpson) entre tratamentos cf: área com indício de queimada; sf: área sem indício de queimada, da vegetação de canga couraçada.....38
- Figura 6:** *Boxplots* do índice de diversidade funcional (RaoQ) e diversidade filogenética (PD) entre tratamentos, com ocorrência do fogo (cf) e sem fogo (sf). .....38
- Figura 7:** *Boxplots* dos índices de diversidade funcional (RaoQ) e diversidade filogenética (PD), das espécies amostradas por campanhas e tratamento. Letras diferentes maiúsculas representam diferença entre áreas com indício de queimada e letras minúsculas representam diferença entre áreas sem indício de queimada por campanha. O asterisco apresenta diferença entre tratamentos. ....39
- Figura 8:** Riqueza das formas de vida de todas as espécies amostradas em cada tratamento. CAM=caméfitas, FAN=fanerófitas, GEO=geófitas, HEM=hemicriptófitas e TER=terófitas ( $Qui^2=7,26$ ;  $p=0,241$ ). .....40
- Figura 9:** *Boxplots* da relação de abundância das espécies por tratamento (com indício de queimada e sem indício de queimada) com os traços funcionais relacionados com a duração do ciclo de vida e das fenofases e os períodos chuvoso (C1,C2,C3,C4 e C5) e período seco (C6,C7 e C8). An=anual, Per=perene, Pla=plântula, Fo=presença das folhas, S\_fo=ausência das folhas, Bo= botão floral, Flor=flor aberta, F.imat=fruto imaturo e F.mad=frutomaduro. C1=novembro, C2=janeiro, C3=fevereiro, C4=março, C5=abril, C6=junho, C7=agosto, C8=outubro. Tratamento: cf=com fogo e sf=sem fogo. ....41
- Figura 10:** *Boxplots* dos índices NRI (índice de parentesco líquido) e NTI (índice de táxon mais próximo) entre campanhas por tratamento.....42
- Figura 11:** *Boxplots* dos índices de estrutura funcional ao longo das campanhas por tratamento na região de Canga. NRI = índice de parentesco líquido; NTI = índice do táxon mais próximo. \*\*\* indica agrupamento; \*\* indica superdispersão funcional.....42

**Figura 12:** *Boxplots* dos índices de estrutura filogenética ao longo das campanhas por tratamento na região de Canga. NRI = índice de parentesco líquido; NTI = índice do táxon mais próximo. ....43

**Tabela 1:** Parcelas amostradas no presente estudo, com informações sobre georreferenciamento e presença/ausência de fogo. ....29

**Tabela 2:** Lista de espécies amostradas em 20 parcelas da vegetação de Canga na Serra Norte, platô N1. FV: forma de vida (GEO: Geófito; HEM: Hemicriptófito; CAM: Caméfito; FAN: Fanerófito e TER: Terófito) Hab: Hábito; S.P: Síndrome de polinização; S.D: Síndrome de dispersão; Per: plantas perenes (1); Fenofases = Pla: Plântula (1); Fo: presença de folhas (1); Sfo: ausência de folhas (1); Flor: presença de flor (1); Bo: presença de botões florais (1); F.imat: presença do fruto imaturo (1) e F.mad: presença do fruto maduro (1). ....34

## RESUMO

As cangas são ecossistemas de elevada biodiversidade, altas taxas de endemismo vegetal e amplamente ameaçadas (e.g. atividade mineradora, urbanização, distúrbios e outros). Dessa forma, medidas de diversidade que incorporem informações sobre adistribuição, composição e a estrutura das comunidades mostram-se especialmente importantes em ambientes adversos. Nosso objetivo foi descrever os efeitos de uma queimada acidental ocorrida em uma área de vegetação de canga na Serra dos Carajás para ajudar a compreender a diversidade sobre a premissa das regras de montagem. Para isso, conduzimos a amostragem na Serra Norte, especificamente no platô N1, demarcando 10 parcelas de 2 x 2 m em ambientes que sofreram queimadas e 10 parcelas em área sem indício de queimada. Nessas parcelas todas as espécies de fanerógamas foram amostradas. As espécies foram classificadas de acordo com as fenofases (plântula, presença e ausência foliar, floração e frutificação), ciclo de vida (anual ou perene) síndromes de polinização e dispersão. Para cada campanha e tratamento foram calculadas medidas de diversidade taxonômica (Shannon e Simpson), filogenética (PD) e funcional (RaoQ) das comunidades. Além disso, foi analisada a estrutura filogenética e funcional das comunidades, através dos índices (MPD, MNTD, NRI e NTI) usando o software Phylocom 4.2 e o programa R. Os resultados indicam que a estrutura filogenética não difere do esperado ao acaso, não confirmando ação do fogo como estruturador das comunidades, enquanto que em relação à estrutura funcional houve predomínio do agrupamento, reforçando a importância da ação do fogo como um possível filtro ambiental da comunidade. Por fim, além das análises estruturais, mostramos resultados associados aos eventos fenológicos e a não ação do fogo nos mesmos. Portanto, os estudos sobre regras de montagem na canga contribuíram para o entendimento da manutenção, diversidade e funcionamento das comunidades vegetais.

**Palavras-chave:** Canga. Fogo. Diversidade funcional. Diversidade filogenética. Fenologia.

## ABSTRACT

*Cangas* are ecosystems of high biodiversity, high rates of plant endemism and widely endangered (eg mining activity, urbanization, disturbances and others). Thus, diversity measures that incorporate information on the distribution, composition, and structure of communities are especially important in adverse environments. Our objective was to describe the effects of an accidental burning in an area of *canga* vegetation in the Serra dos Carajás to help understand diversity on the premise of the rules of assembly. For this, we conducted sampling in the Serra Norte, specifically in the N1 plateau, demarcating 10 2 x 2 m plots in environments that suffered burnings and 10 plots in an area with no evidence of burning. In these plots all species of phanerogams were sampled. The species were classified according to the phenophases (seedling, presence and absence of leaf, flowering and fruiting), life cycle (annual or perennial) syndromes of pollination and dispersion. For each campaign and treatment were calculated measures of taxonomic diversity (Shannon and Simpson), phylogenetic (PD) and functional (RaoQ) of the communities. In addition, the phylogenetic and functional structure of the communities were analyzed through the indexes (MPD, MNTD, NRI and NTI) using the software Phylocom 4.2 and program R. The results indicate that the phylogenetic structure does not differ from that expected at random, confirming fire action as the structurer of the communities, while in relation to the functional structure there was a predominance of grouping, reinforcing the importance of the fire action as a possible environmental filter of the community. Finally, in addition to the structural analyzes, we show results associated with phenological events and the non-action of fire in them. Therefore, studies on rules of assembly in the *canga* contributed to the understanding of the maintenance, diversity and functioning of plant communities.

**Keywords:** *Canga*. Fire. Functional diversity. Phylogenetic diversity. Phenology.

# SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Tipos de campos rupestres ferruginosos.....	11
1.2 Diversidade funcional.....	12
1.3 Diversidade filogenética.....	13
1.4 Fenologia.....	14
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>16</b>
<b>2. Introdução</b> .....	<b>23</b>
<b>3. Material e Métodos</b> .....	<b>25</b>
3.1 Área de estudo .....	25
3.2 Amostragem .....	28
3.3 Análise dos dados.....	29
3.3.1 Diversidade taxonômica, funcional e filogenética .....	29
3.3.2 Estrutura funcional e filogenética.....	30
<b>4. Resultados</b> .....	<b>32</b>
4.1 Diversidade taxonômica, funcional e filogenética .....	32
4.2 Atributos funcionais .....	39
4.3 Estrutura funcional e filogenética.....	41
<b>5. Discussão</b> .....	<b>44</b>
<b>Conclusão</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

### 1.1 Tipos de campos rupestres ferruginosos

Em geral, os campos rupestres ferruginosos, ou cangas, ocorrem principalmente acima de 700 m de altitude, em montanhas cujas rochas são de origem pré-cambriana e estão associados a solos com a presença do quartzo, arenito e ferro (Alves; Kolbek, 1994; Caiafa; Silva, 2005; Alves et al., 2007). Trata-se de uma comunidade vegetal que suporta um elevado endemismo, resultante do intemperismo associado ao alto teor de ferro no solo rochoso (Carmo; Kamiro, 2015).

Geossistemas ferruginosos são descritos como um dos ambientes naturais de significativa importância, porém conflitivos. Estes ambientes recobrem uma pequena porcentagem da superfície terrestre, que são consideradas singulares e importantes economicamente, pois estão relacionados com atividades de mineração, que degradam significativamente o relevo, a paisagem, a capacidade de recarga dos aquíferos e grande parte da biodiversidade associada (Carmo; Kamiro, 2015; Nunes et al., 2015; Schaefer et al., 2015).

No Brasil, os campos rupestres ferruginosos ganham destaque nas Serras de Minas Gerais (região do Quadrilátero Ferrífero) e no Pará (Serra dos Carajás). No Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, são comuns formações sobre itabirito (formações ferríferas bandadas), entremeadas aos campos rupestres quartzíticos. Nessa região, estes dois tipos litológicos ocorrem nas porções mais altas das montanhas, normalmente acima de 900 m, uma vez que são as rochas presentes mais resistentes aos processos erosivos (Varajão et al., 2009). Alguns autores, entretanto, colocam os campos quartzíticos e ferruginosos em unidades florísticas distintas embora pouco se conheça da similaridade florística entre os campos sobre estas litologias (Alves; Kolbek, 1994; Rizzini, 1997).

A Serra dos Carajás é caracterizada por um ambiente específico, recoberto por 2% a 3% de vegetação rupestre sobre carapaça laterítica (canga) em áreas isoladas nas partes mais altas dos trechos Norte e Sul da Serra dos Carajás, representando uma região peculiar. Genericamente, tem sido usado o termo "vegetação de canga" para designar essa tipologia vegetal. O termo "Vegetação

"Metalófila" ainda é utilizado por alguns autores para o tipo de cobertura vegetal que cresce sobre essas rochas, na região de Carajás (Porto; Silva, 1989).

Trabalhos de identificação florística nas cangas de Carajás são bastante persistentes, datam desde meados da década de 1960, juntamente com a descoberta das primeiras jazidas de ferro. Secco e Mesquita (1983) publicaram a primeira de lista de espécies, posteriormente ampliada por Porto; Silva, 1989; Silva et al., 1991. Atualmente, o Museu Paraense Emílio Goeldi e o Instituto Tecnológico Vale publicaram o mais abrangente tratado florístico das cangas da Serra dos Carajás (Viana et al., 2016; Mota et al., 2018).

## 1.2 Diversidade funcional

Compreender como funcionamos padrões de composição e estrutura das assembléias de espécies e como afetam os processos ecológicos, a resiliência dos ecossistemas às mudanças ambientais e os serviços ecossistêmicos é crucial para manter o bem-estar entre as diversas paisagens e todos os sistemas que dependem desta funcionalidade (Tilman, 2001; Garnier et al., 2004; Laliberté; Legendre, 2010; Díaz et al., 2011). Os efeitos do funcionamento da estrutura das comunidades levantam a importante questão de como medir a composição funcional e a diversidade (Leps et al., 2006; Ricotta; Moretti, 2011).

Nesse contexto, foram criados índices de diversidade funcional (FD), que medem o quanto as espécies diferem entre si em relação às suas características ecológicas (Petchey; Gaston, 2002; Botta-Dukát, 2005; Cianciaruso et al., 2009; Mouchet et al., 2010).

Díaz e Cabido (2001) têm demonstrado que a alta diversidade funcional é uma medida eficiente para captura de recursos em ambientes heterogêneos. À medida que a diversidade de características ecológicas aumenta em uma comunidade, maior será a divisão dos recursos do ambiente entre essas espécies (Mcgill et al., 2006; Cadotte, 2011a; Cadotte et al., 2011b).

A diversidade funcional reúne informações em relação ao organismo e o ambiente por meio dos atributos do organismo, já que os atributos podem explicar, ao mesmo tempo, a resposta individual dos organismos a fatores bióticos e abióticos, assim como os efeitos ecossistêmicos que tem essa resposta

(Lavorel; Garnier, 2002; Violle et al., 2007). Além disso, conhecer a diversidade funcional de uma comunidade auxilia no entendimento de padrões de diferenciação de nicho e de ocorrência de espécies (Díaz et al., 2002).

Logo, a diversidade funcional contribui para esclarecimentos de processos que determinam o funcionamento das comunidades, pois é um conceito que liga organismos e comunidades por meio de mecanismos como complementariedade no uso de recursos e a facilitação (Petchey; Gaston, 2006).

### 1.3 Diversidade filogenética

A diversidade filogenética é uma medida de diversidade que incorpora as relações de parentesco das espécies (Magurran, 2004). A incorporação das relações de parentesco das espécies a abordagens clássicas de diversidade estabeleceu a base da emergente área de pesquisa em filogenia de comunidades e tem impulsionado o desenvolvimento de muitas ferramentas para detectar a subjacente estrutura das assembléias (Cavender-Bares et al., 2009; Pavoine; Bonsall, 2010).

A crescente disponibilidade de dados filogenéticos facilitou a rápida expansão de estudos que aplicam métodos filogenéticos para ecologia de comunidade (Cavender-Bares et al., 2009). Estudos filogenéticos das comunidades examinam como as histórias evolutivas atuam na organização das comunidades, ajudando a estabelecer relação com os ecossistemas e fornecer respostas a mudanças ambientais (Webb et al., 2002; Cavender-Bares et al., 2009). Em muitos casos, a diversidade filogenética é mais sensível para detectar esses efeitos de mudança em comunidades ecológicas do que a riqueza ou a abundância de espécies (Helmus et al., 2010; Winter et al., 2013).

Além disso, esforços contínuos para integrar o conhecimento das relações filogenéticas dos organismos com a distribuição e evolução de características ecológicas entre as espécies co-ocorrentes, possibilita uma compreensão mais evidente sobre os processos de montagem. Por exemplo, espécies intimamente relacionadas são ecologicamente semelhantes, elas devem compartilhar recursos ambientais semelhantes e, portanto, pode-se esperar que ocorram conjuntamente

(agrupadas). Por outro lado, espécies intimamente relacionadas devem experimentar fortes interações competitivas devido à sua semelhança ecológica, limitando assim a coexistência e, assim, conduzindo a seleção de características divergentes (superdispersão) (Cavender-Bares et al., 2009).

Portanto, a filogenia pode proporcionar uma compreensão precisa de como a composição da comunidade afeta as funções do ecossistema (Webb et al., 2002; Cavender-Bares et al., 2009).

#### 1.4 Fenologia

Fenologia é o estudo da ocorrência de eventos biológicos repetitivos e das causas de sua ocorrência em relação às forças seletivas bióticas e abióticas e a sua inter-relação entre as fases caracterizada por estes eventos, dentro de uma ou várias espécies. É de extrema importância quando buscamos compreender sua história natural, assim como as possíveis relações entre as plantas e outros grupos a elas associados. Desse modo, fenologia é definida como um estudo que auxilia no entendimento do ritmo sazonal dos eventos que ocorrem durante o ciclo e vida dos organismos (Rathcke; Lacey, 1985). Os eventos que ocorrem na vida das plantas são: brotação, expansão e abscisão das folhas, germinação, floração, frutificação, polinização e dispersão de sementes. Em suma, são quatro os principais eventos considerados na maioria dos estudos em plantas: queda de folhas, formação de folhas novas, floração e frutificação (Morellato et al., 2000; Andreis et al., 2005).

Estudos fenológicos podem ter diversos enfoques, tais como a relação com fatores bióticos (perda e fragmentação de habitat, espécies invasoras, entre outros); abióticos (alterações climáticas, frequência de fogo, modificação dos ciclos geoquímicos, entre outros); modos de dispersão e atividade de polinizadores e dispersores de sementes (Rathcke; Lacey, 1985; Morellato, 2003) e fatores filogenéticos (SanMartin-Garjardo; Morellato, 2003). Além disso, para alguns autores (Morellato et al., 2000; Bencke; Morellato, 2002; Ramirez, 2002) as investigações fenológicas podem ser feitas de forma comparativa em um mesmo ecossistema ou entre ecossistemas, assim como podem ser feitas entre espécies em nível de comunidade ou dentro de espécies em nível populacional.

Outra aplicação interesse é a análise das variações fenológicas vegetativas obtidas de metodologias de captação de imagens, para classificação dos tipos vegetacionais dominantes, em uma escala geográfica (Hoare; Frost, 2004). Dessa maneira, os parâmetros fenológicos são uma importante ferramenta para a caracterização de diversos ambientes (Lieth, 1974).

Em ambientes naturalmente heterogêneos, como os afloramentos rochosos, por exemplo, os padrões de respostas da vegetação podem se mostrar igualmente complexos (Belo et al., 2013; Rocha et al., 2016), principalmente relacionados aos gatilhos ambientais que desencadeiam as fases fenológicas. Assim, o desenvolvimento de técnicas capazes de captar e interpretar de forma sucinta as variações sutis no ambiente se mostra cada vez mais relevantes, e uma tendência para os estudos futuros.

A fenologia, portanto, contribui para o entendimento dos processos e serviços ecossistêmicos, como interação planta-animal evidenciando o caráter evolutivo da dependência sobre as plantas como fonte de alimento ou do animal como dispersor e polinizador. Contribuindo assim, com informações para a conservação e preservação, além da recuperação desse ecossistema, pois combinando dados fenológicos, funcionais e filogenéticos permiti-se descrever a oferta de recursos, por exemplo, para a fauna herbívora, polinizador e dispersora da vegetação (Morellato, 1991; Morellato; Leitão-Filho, 1995).

Este trabalho segue a formatação das normas de apresentação de dissertação estabelecida pela UFRA.

## REFERÊNCIAS

ALVES, R.J.V; KOLBEK, J. Plant endemism in savanna vegetation on the mountains (campo rupestre) in Brazil. **Vegetation**, v.113, p. 125-139. 1994.

ALVES, R.J.V; CARDIN, L; KROPF, M.S. Angiospermdisjunction 'camposrupestres- restingas': a re-evaluation. **Acta Botanica Brasílica**, v.21, n.3, p. 675-685. 2007.

ANDREIS, C; LONGHI, S.J; BRUN, E.J; WOJCIECHOWSKI, J.C; MACHADO, A.A;VACCARO, A; CASSAL, C. Estudo fenológico em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no município de Santa Tereza, RS, Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p. 55-63. 2005.

BENCKE, C.S.C; MORELLATO, P.L.C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, v.25, n.3, p. 269-275. 2002.

BELO, R.M; NEGREIROS, D; FERNANDES, W.G; SILVEIRA, F.A.O; RANIERI,B.D;MORELLATO, P.L.C. Fenologia reprodutiva e vegetativa de arbustos endêmicos de campo rupestre na Serra do Cipó, Sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, v.64, n.4, p. 817-828. 2013.

BOTTA-DUKÁT, Z. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. **Journal of Vegetation Science**, v.16, p. 533-540. 2005.

CADOTTE, M.W. The new diversity: management gains through insights into the functional diversity of communities. **Journal Applied of Ecology**, v.48, p. 1067-1069a. 2011.

CADOTTE, M.W; CARSCADDEN, K; MIROTCHNICK, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecology processes and services.

**Journal Applied of Ecology**, v.48, p. 1079-1087b. 2011.

CAIAFA, A.N; SILVA, A.F. Composição florística de um campo de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Botânica**, Brasil, v.87, n.56, p. 163-173. 2005.

CARMO, F.F; KAMIRO, L.H.Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte:Pristimo, 2015, 553p.

CAVENDER-BARES, J; KOZAK, K.H; FINE, P.V.A; KEMBEL, S.W.The merging of community ecology and phylogenetic biology. **Ecology Letters**, v.12, p. 693-715. 2009.

CIANCIARUSO, M.V; BATALHA, M.A; GASTON, K.J; PETCHEY, O.L. Including in traspecific variability in functional diversity. **Ecology**, v.90, p. 81-89. 2009.

DÍAZ, S; CABIDO, M. Vive la difference: plant fuctional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology e Evolution**, v.16, n.11, p. 646-655. 2001.

DÍAZ, S; GURVICH, D; PEREZ-HARGUINDEGLUY, D; CABIDO, M. Qui é necesita tipos funcionales de plantas? **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v.37, p. 135-140. 2002.

DÍAZ, S; QUETIER, F; CACERES, D.M; TRAINOR, C.S.F; PEREZ-HARGUINDEGUY,N; BRET-HARTED, M.S; FINEGAN, B. Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society.**Proceedings of the National Academy of Sciences of USA (PNAS)**, v.108, p. 895-902. 2011.

GARNIER, E; CORTEZ, J; BILLÉS, G; NAVAS, M.L; ROUMET, C;

DEBUSSCHE, M; LAURENT, G; BLANCHARD, A; AUDRY, D; BELLMANN, A; NELL, C; TOUSSAINT, JP. **Ecology**, v.89, n.13, p. 2630-2637. 2004.

HOARE, D; FROST, P. Phenological description of natural vegetation in southern Africa using remotely-sensed vegetation data. **Applied Vegetation Science**.v.18, n.7, p. 19-28. 2004.

HELMUS, M.R; KELLER, W; PATERSON, M.J; YAN, N.D; CANNON, C.H; RUSAK, J.A. Communities contain closely related species during ecosystem disturbance. **Ecology Letters**, v.13, n.2, p. 162-174. 2010.

LALIBERTÉ, E; LEGENDRE, P.A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v.91, n.1, p 299-305. 2010.

LAVOREL, S; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**, v.16, p. 545-556. 2002.

LEPS, J; BELLO, F; LAVOREL, S; BERMAN, S. Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter. **Preslia**, v.78, p. 481-501. 2006.

LIETH, H. 1974. **Purposes of a phenology book**. Heidelberg, Berlin, 3-19p.

MAGURRAN, A.E. **Measuring biological diversity**.Oxford: Blackwell, 2004. 71p.

MCGILL, B.J; ENQUIST, B.J; WEIHER, E; WESTOBY, M. “Rebuilding CommunityEcology from Functional Traits”.**Trends in Ecology and Evolution**, v. 21, n. 4, p. 178-185.2006.

MOTA, N.F.O; WATANABE, M.T.C; ZAPPI, D.C; HIURA, A.L; PALLOS, J;

VIVEROS, R.S; GIULIETTI, A.M; VIANA, P.L. Cangas da Amazônia: a vegetação única de Carajás evidenciada pela lista de fanerógamas. **Rodriguésia**, v.69, n.3, p. 1435-1488. 2018.

MORELLATO, L.P.C. **Fenologia de árvores, arbustos e lianas em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil**. 176f, Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade de Campinas, Campinas, São Paulo, 1991.

MORELLATO, P.C; LEITÃO-FILHO, H.F. Reproductive phenology of climbers in a Southeastern Brazilian Forest. **Revista Biotropica**, v. 28, p.180-191.1995.

MORELLATO, L.P.C; TALORA, D.C; TAKAHASI, A; BENCKE, C.C; ROMERA, E.C;ZIPARRO, V.B. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. **Revista Biotropica**, v. 32, p. 811-823. 2000.

MORELLATO, L.P.C. Phenological data, networks, and research: South America. **Phenology: An integrative environmental science**. 2003. 75- 92p.

MOUCHET, M., VILLÉGER, S; MASON, N. W. H; MOUILLOT, D. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. **Functional Ecology**, v. 24, p. 867-876. 2010.

NUNES, J.A; SCHAEFER, C.E.G.R; FERREIRA, W.G; NERI, A.V; CORREA, G.R;ENRIGHT, N.J. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás plateau, Brazilian eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, p. 2097–2110.2015.

PAVOINE, S; BONSALE, M.B. Measuring biodiversity to explain community assembly: a unified approach. **Biological Reviews**, v. 86, p. 792-812. 2010.

PETCHEY, O.L; GASTON, K.J. Functional diversity (FD), species richness

- and community composition. **Ecology Letters**, n.5, p. 402-411. 2002.
- PETCHEY, O.L; GASTON, K.J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v.9, n.6, p. 741-758. 2006.
- PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra dos Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.3, p. 13-21. 1989.
- RAMIREZ, N. Reproductive phenology, life-forms and habitats of the Venezuelan Central Plain. **American Journal of Botany**, v.5, n.89, p. 836-842. 2002.
- RATHCKE, B; LACEY, E.P. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 16, p. 179-214. 1985.
- RICOTTA, C; MORETTI, M. CWM and Rao's quadratic diversity: a unified framework for functional ecology. **Oecologia**, p. 181-188. 2011.
- RIZZINI, C.T. **Tratados da fitogeografia do Brasil**. São Paulo: HUCITEC/Universidade, 1997. 347p.
- ROCHA, N.M.B; CARSTENSEN, D.W; FERNANDEZ, G.W; MORELLATO, L.P.C. Phenology patterns across a rupestrian grassland altitudinal gradient. In: **Ecology and conservation of mountain-top grasslands in Brazil**. New York: Springer, 2016. 275-286p.
- SANMARTÍN-GAJARDO, MORELLATO, P.L.C. Inter and intraspecific variation on reproductive phenology of the Brazilian Atlantic forest Rubiaceae: ecology and phylogenetic constraints. **Revista de Biologia Topical**, n.51, v.3. 2003.
- SCHAEFER, C.E.G.R; CÂNDIDO, H.G; CORRÊA, G.R; PEREIRA, A; NUNES, J.A; SOUZA, O.F; MARINS, A; FERNANDESFILHO, E; KER, J.C.

Solos desenvolvimento sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y (Orgs). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i, 2015.77-102p.

SECCO, R; MESQUITA, A.L. Notas sobre a vegetação de canga da Serra Norte-I. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Pará, v.59, p. 1-13. 1983.

SILVA, M. F. F. Análise florística da vegetação que cresce sobre canga hematítica em Carajás - Pará (Brasil). **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**. Pará, v.7, n.1, p. 79-106. 1991.

TILMAN, D. Functional diversity. **Encyclopedia of Biodiversity**, v.3, p. 109-120. 2001.

VARAJÃO, C.A; SALGADO, A.A; VARAJÃO, A.F; BRAUCHER, R; COLIN, F; JR, H. A. Estudos da evolução da paisagem do quadrilátero ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio de mensuração das taxas de erosão (10be) e da pedogênese. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, n.5, p. 1409-1425. 2009.

VIANA, P.L; MOTA, N.F.O; GIL, A.S.B; SALINO, A; ZAPPI, D.C; HARLEY, R.M; ILKIU-BORGES, A.L; SECCO, R.S; ALMEIDA, T.E; WATANABE, M.T.C; SANTOS, J.U.M; TROVÓ, M; MAURITY, C; GIULIETTI, A.M. Flora das cangas da Serra de Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. **Rodriguésia**, Brasil, v.5, n.67, p. 1107-1124. 2016.

VIOLLE, C; NAVAS, M.L; VILE, D; KAZAKOU, E; FORTUNEI, C; HUMMEI, I; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional. **Oikos**, v.116, n.5, p. 882-892. 2007.

WEBB, C. O; ACKLERLY, D.D; MCPEEK, M.A; DONOGHUE, M.J.  
Phylogenies and community ecology. **Annual Reviews Ecology Systematic**,  
v.33, p. 475-505. 2002.

WINTER, M; DEVICTOR, V; SCHWEIGER, O. Phylogenetic diversity and  
nature conservation: where are we? **Trends in Ecology an Evolution**, v.28, n.4,  
p. 199-204. 2013.

## 2. Introdução

As cangas, ou campos ferruginosos, são ecossistemas peculiares associados a rochas ferruginosas, que formam couraças concentradas em platôs montanhosos (Schaefer et al., 2008; Pereira, 2009; Mota et al., 2015). As cangas configuram um tipo vegetacional associado a altas taxas de endemismo, ou seja, espécies que ocorrem unicamente nessa fitofisionomia (Nunes et al., 2015; Schaefer et al., 2015; Chaves et al., 2016; Viana et al., 2016). A elevada biodiversidade, ocorrência restrita e ameaças a que estão submetidas (e.g. atividade mineradora, urbanização, distúrbios e outros) enquadram essas formações como áreas prioritárias para conservação, e compreender os processos relacionados à montagem das comunidades das cangas, com estudos de diversidade funcional e filogenética, são impreteríveis, pois conduzem estudos sobre ambientes que passam por profundas alterações na estrutura das comunidades.

Para as cangas da Serra dos Carajás, são referidas 856 espécies de plantas fanerógamas, com destaque para diversas espécies endêmicas (Mota et al., 2018). Entretanto, o número de espécies é somente um dos componentes da diversidade de uma área (Magurran, 2004). A ecologia de comunidades utiliza abordagens funcionais e filogenéticas para descrever e entender os serviços (e.g. polinização, dispersão de sementes, ocupação de nichos) e os processos ecossistêmicos. Tanto a diversidade funcional quanto a filogenética podem ser boas previsoras da funcionalidade ecossistêmica (Cadotte et al., 2008; Cavender-Bares et al., 2009).

A diversidade funcional refere-se aos componentes da biodiversidade que influenciam a forma como um ecossistema opera ou funciona. É considerada uma importante medida ecológica da biodiversidade, pois influencia a dinâmica, a estabilidade, a produtividade, o equilíbrio de nutrientes e outros aspectos do funcionamento do ecossistema (Díaz-Cabido, 2001; Tilman, 2001; Sobral; Cianciaruso, 2012). Esta medida determina diferenças entre os organismos, com base em suas características funcionais morfológicas, fisiológicas e fenológicas e agrega as semelhanças ecológicas entre as espécies que coexistem em uma comunidade (Martín-López, 2007; Violle et al., 2007). Dentre esses processos, estudos sobre fenologia são importantes, pois tem diversos enfoques, tais como

abordagens ecológicas (que relacionam a interação com polinizadores e dispersores de semente); enfoques filogenéticos; mudanças climáticas e outros (Stone et al., 1996; Martín-Gajardo; Morellato, 2003; Burns, 2005). Estudos fenológicos fornecem informações relevantes para práticas de manejo, através da escolha de espécies com uso potencial na recuperação de áreas degradadas, a partir de informações de suas estratégias fenológicas (Zamith; Scarano, 2004).

Vários tipos de formações de vegetação aberta, como campos e savanas, possuem intrínseca relação com ocorrência de fogo (Loiola et al., 2010). Nesses ambientes, o fogo pode atuar como filtro ambiental, pois influencia os processos estruturantes das comunidades através de efeitos como mudança na disponibilidade de luz, na composição florística, na disponibilidade de nutrientes, na altura e densidade da vegetação (Loiola et al. 2010; Neves et al., 2010). A ação do fogo pode também afetar a fenologia de espécies, desencadeando eventos de floração precoce ou tardia e interferindo no tempo e/ou quantidade de frutos formados. Isso ocorre principalmente através do aumento da radiação solar, temperatura e disponibilidade de nutrientes em um ambiente recentemente queimado (Paritsis et al., 2006). O fogo também é um importante agente evolutivo das plantas, torna-se parte integral do funcionamento de muitos ecossistemas, determinando a similaridade e o grau de parentesco de espécies co-ocorrentes em nichos ecológicos similares, ou seja, atua selecionando as espécies que podem persistir dentro de uma comunidade, com base na tolerância as condições imposta pela ação do fogo (Fukami et al, 2005; Bowman et al., 2011).

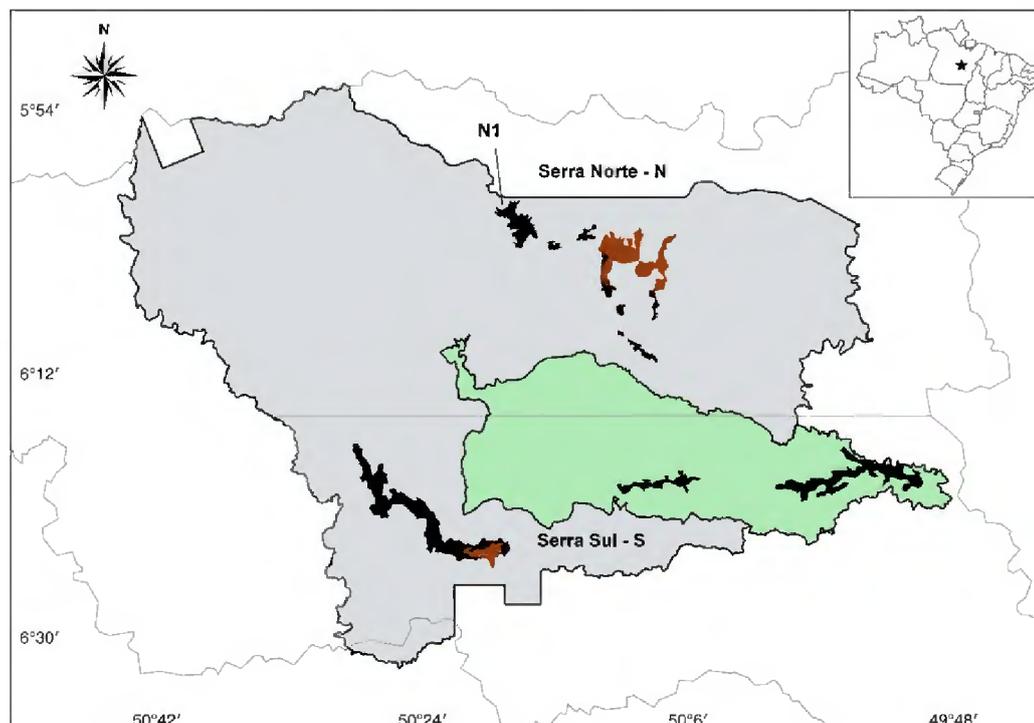
Por sua vez, a abordagem filogenética leva em consideração as relações de parentesco evolutivo entre os táxons coexistentes (Webb, 2000; Pausas; Verdú, 2010). Devido aos recentes avanços tecnológicos, desenvolvimento de ferramentas para manipulação de filogenias e surgimento de métodos de análise da estrutura de assembleias, tornou-se cada vez mais possível e comum investigar os processos ecológicos e evolutivos envolvidos na formação de assembleias (Webb et al., 2002; Webb et al., 2008; Kembel et al., 2010). E apesar de carregar informações diferenciadas, estrutura filogenética e a funcional possuem a mesma base teórica para a observação dos padrões espaciais de coexistência. Seja em relação à estrutura funcional ou filogenética, as espécies em uma assembleia podem ser mais semelhantes ou mais diferentes entre si (Webb et al., 2002).

Neste contexto, o presente trabalho buscou descrever os efeitos de uma queimada acidental ocorrida em uma área de vegetação de canga na Serra dos Carajás para ajudar a compreender a diversidade sobre a premissa das regras de montagem e assim foram testadas as seguintes hipóteses: (1) Áreas com indício de queimada nas comunidades de canga apresentam menor biodiversidade taxonômica, funcional e filogenética; (2) Áreas com indício de queimada apresentam agrupamento funcional e filogenético; (3) O efeito da queima sobre as características funcionais fenológicas altera os eventos vegetativos e reprodutivos em comunidades vegetais de canga.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido na Serra dos Carajás, localizado no sudeste do estado do Pará (05°54' a 06°33'S e 49°53' a 50°34'W), no município de Parauabemas (Golder, 2010; Mota et al., 2015; Viana et al., 2016) (Figura 1).



**Figura 1:** Localização dos principais platôs de canga na Serra do Carajás, com indicação da localização do platô N1, área onde foram instaladas as parcelas.

Modificado de Mota et al. (2018).

Segundo a classificação Köppen, o clima da região é “Aw”, tipicamente tropical quente e úmido, com duas estações bem marcadas: estação seca (entre os meses de maio a outubro) e uma estação chuvosa (novembro a abril). A precipitação pluviométrica média anual é de 1500 mm em locais mais baixos e 1900 mm em locais mais altos. Temperaturas médias anuais variam entre 23 e 31° C (Silveira et al., 1995; Schaefer et al., 2012; Alvares et al., 2013).

A Serra dos Carajás caracteriza-se por um conjunto de serras descontínuas e morros afastados por imensos vales, englobando dois grandes blocos de canga: Serra Norte e Serra Sul. As cangas ocorrem sobre formações rochosas com alto teor de minério de ferro expostas há milhares de anos e em elevações de 600 a 750 m (Mota et al., 2015; Schaefer et al., 2015; STCP, 2016). Essas formações ferríferas são recobertas por uma fisionomia vegetal peculiar, predominantemente herbáceo-arbustiva, podendo também se estabelecer campos rupestres constituído por uma vegetação mais espaçada, assim como campos gramíneos (Silva et al., 1991; Mota et al., 2015; Mota et al., 2018).

A área amostral compreende um dos nove corpos de minério do complexo da Serra Norte, o platô N1, especificamente em substratos rochosos na forma de uma carapaça laterítica (canga couraçada) (Figura 2). Nesse local predomina um relevo plano, porém podendo ocorrer formação de poças e lagoas temporárias. A vegetação predominante no afloramento de rochas ferruginosas sobre canga couraçada tem aspecto mais arbustivo, sendo dominado por espécies como *Noranthea guianensis* (Marcgraviaceae), *Callisthene microphylla* (Vochysiaceae) e *Mimosa acutistipula var. ferrea* (Fabaceae).



**Figura 2:** Aspecto fisionômico da canga couraçada na área de estudo. A-B: áreas sem ocorrência de queimada, no período chuvoso (A) e período seco (B); C: parcela estabelecida em área sem ocorrência de queimada; D: parcela em área com ocorrência de queimada; E: levantamento de dados em campo: Fotos: A,C,E: Pedro Lage Viana; B,D: Mirna Yuri da Silva.

### 3.2 Amostragem

Foram marcadas vinte parcelas de 2 m x 2 m, sendo que destas, dez parcelas foram marcadas em áreas que foram queimadas em agosto de 2017 e as outras dez em áreas que não apresentaram indício de queimada. As parcelas foram demarcadas em cada um dos vértices com tinta spray e georreferenciadas, com auxílio de um GPS (Tabela 1).

Campanhas de campo mensais para coleta de dados foram realizadas entre novembro de 2017 e outubro de 2018. E em cada campanha as parcelas foram inventariadas quanto a sua composição florística, fitossociológica e fenofases dos indivíduos. Apenas plantas vasculares foram amostradas.

A identificação das espécies se deu em campo, com auxílio das monografias taxonômicas da série “Flora das cangas da Serra dos Carajás”, publicadas na revista *Rodriguésia*. Ainda em campo foram realizadas coletas de amostras botânicas e pelo menos um material testemunho para cada espécie foi herborizado para incorporação ao acervo do Herbário MG e confirmação das identificações em laboratório. O sistema de classificação adotado foi o APG IV (The Angiosperm Phylogeny Group, 2016).

As formas de vida seguiram o sistema de Raunkiaer, conforme descrito por Martins e Batalha (2011). As síndromes de polinização (Faegri; Van der Pijl, 1979) consideradas foram entomófilas, anemófilas, ornitófilas e quiropterófilas. As categorias autocórica, anemocórica, zoocórica e hidrocórica foram consideradas para as síndromes de dispersão (Van der Pijl, 1982).

Para a fenologia, as fenofases consideradas foram plântulas (indivíduos com o primeiro par de folhas cotiledonares não completamente desenvolvidos), brotamento foliar (aparecimento das primeiras folhas no indivíduo adulto até a expansão), queda foliar (ausência de folhas), floração (indivíduos em botões florais e/ou flores, fenofases consideradas, respectivamente, pelo início da formação do botão floral até a presença da antese), frutificação (fruto maduro e fruto imaturo).

**Tabela 1:** Parcelas amostradas no presente estudo, com informações sobre georreferenciamento e presença/ausência de fogo.

Parcelas	Longitude	Latitude	Fogo
Parcela 01	50°16'18.2"W	06°02'31.9"S	não
Parcela 02	50°16'18.9"W	06°02'31.3"S	não
Parcela 03	50°16'15.9"W	06°02'30.2"S	não
Parcela 04	50°16'16.4"W	06°02'30.3" S	não
Parcela 05	50°17'04.5"W	06°01'55.0"S	sim
Parcela 06	50°17'05.1"W	06°01'54.5"S	sim
Parcela 07	50°17'04.8"W	06°01'54.0"S	sim
Parcela 08	50°17'05.6"W	06°01'53.0"S	sim
Parcela 09	50°17'05.3"W	06°01'52.7"S	não
Parcela 10	50°17'04.4"W	06°01'52.9"S	sim
Parcela 11	50°17'00.8"W	06°01'51.1"S	sim
Parcela 12	50°16'59.6"W	06°01'49.4"S	sim
Parcela 13	50°17'00.6"W	06°01'49.0"S	sim
Parcela 14	50°17'00.2"W	06°01'53.0"S	sim
Parcela 15	50°16'50.1"W	06°01'53.6"S	sim
Parcela 16	50°16'57.9"W	06°01'49.3"S	não
Parcela 17	50°16'57.3"W	06°01'48.4"S	não
Parcela 18	50°16'56.3"W	06°01'48.8"S	não
Parcela 19	50°17'03.6"W	06°01'54.7"S	não
Parcela 20	50°17'04.5"W	06°01'59.7"S	não

### 3.3 Análise dos dados

#### 3.3.1 Diversidade taxonômica, funcional e filogenética

Foram calculados os índices taxonômicos de diversidade: o índice de diversidade de Shannon-wiener ( $H'$ ) e o índice de diversidade de Simpson (1-D) (Magurran, 2004) entre tratamentos. Os índices de diversidade foram comparados pelo teste t de Student. A normalidade dos dados foi testada através do teste de Shapiro-wilk (Zar, 1999). Para verificar a eficácia da amostragem foi obtida a riqueza de espécies através de uma curva de acumulação de espécies, por meio do método de permutação (n=999).

Para calcular a diversidade funcional, convertamos as matrizes de

características funcionais (espécies-traços) em matrizes de similaridade, usando a distância de Gower (Pavoine et al., 2009; Almeida et al., 2016). Esta medida quantifica a distância funcional entre todas as espécies, atribuindo pesos iguais aos diferentes tipos de variáveis (Pavoine et al., 2009). Então, usando a matriz de distância entre todas as espécies quantificamos a diversidade funcional através da entropia quadrática de RaoQ (Botta-Dukát, 2005), um índice de diversidade funcional que representa a média de dissimilaridade entre todas as espécies co-ocorrentes em uma comunidade (Botta-Dukát, 2005; Laliberté; Legendre, 2010).

A Entropia quadrática de RaoQ foi calculada no ambiente R usando a função “FD”, que calcula RaoQ usando dados de presença/ausência e categóricos (Laliberté; Legendre, 2015; De Bello et al., 2016).

A diversidade filogenética em cada comunidade foi calculada através do índice PD (Phylogenetic diversity) fornecido pelo programa Phylocom 4.2, inserindo todas as espécies amostradas na mega-árvore R20160415.new (Gastauer; Meira-Neto, 2013) usando a função *phylomatic* (Webb; Donogue, 2005).

Para investigar o efeito do fogo (entre parcelas por campanha) na variação da diversidade funcional e filogenética das comunidades, os índices calculados foram testados estatisticamente. O teste de Shapiro-wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. Foi realizada uma ANOVA, seguido de Tukey para os dados normais da diversidade filogenética e teste Kruskal-wallis, seguido do teste *post hoc* Dunn para os dados que não seguem normalidade da diversidade funcional.

### 3.3.2 Estrutura funcional e filogenética

Para a filogenia foram utilizadas todas as espécies herbáceas, subarbustivas, arbustivas e lianas do levantamento fitossociológico identificadas em nível de família, gênero ou espécie. A estrutura filogenética foi calculada para cada campanha por tratamento, utilizando as seguintes medidas filogenética: (a) distância média de pares (Mean Pairwise Distance-MPD) é a média da distância entre todas as combinações de pares de espécies que ocorrem juntas em cada comunidade; (b) e a distância do táxon mais próximo (Mean Nearest Neighbor

Distance-MNND ou MNTD) que é a média da distância filogenética entre os parentes mais próximos para todas as espécies que ocorrem juntas na amostra. Para detectar o agrupamento ou superdispersão filogenética foram usados o índice de parentesco líquido (Net Relatedness Index-NRI) e o índice de táxon mais próximo (Nearest Taxon Index-NTI). O NRI é uma medida padronizada (Standardized e Effect Size) do MPD e o NTI é uma medida padronizada do MNTD. Valores de NRI e NTI acima de zero indicam agrupamento funcional (espécies funcionalmente similares), enquanto que valores abaixo de zero indicam superdispersão funcional (espécies funcionalmente diferentes) (Gomez et al., 2010; Dunck et al., 2016).

O procedimento da análise da estrutura filogenética foi feito de acordo com Gastauer; Meira-Neto (2018), utilizando o modelo nulo sem constrição do software Phylocom-4.2. Esse modelo nulo mantém a riqueza de espécies de cada parcela constante, mas todas as espécies da metacomunidade (pool de espécies) têm a mesma probabilidade de entrar na comunidade randomizada (Webb et al., 2002). No total, foram realizadas 10.000 aleatorizações por parcela. A função 'comstruct' foi empregada para o cálculo das métricas filogenéticas.

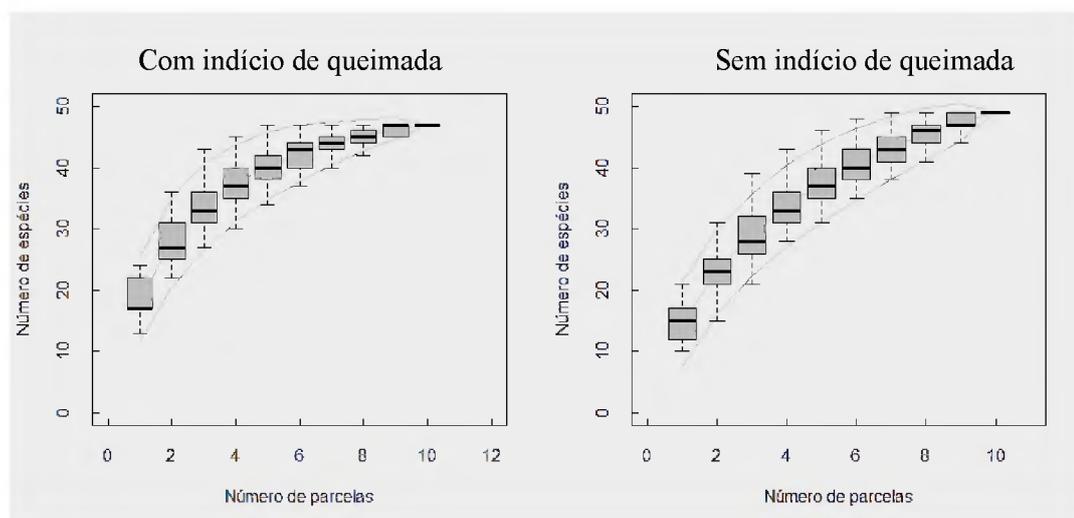
Para avaliar a estrutura funcional utilizamos procedimentos metodológicos semelhantes aos usados na estrutura filogenética. Para isso, utilizamos a função hclust (método "average") no programa R, então geramos uma matriz de distância funcional das espécies, tomando como base os traços funcionais mencionados anteriormente para então ser construído um dendrograma do conjunto de espécies em cada campanha por tratamento e então importar para o programa Phylocom 4.2 e obter os valores de NRI e NTI para análise da estrutura funcional.

Para testar se a estrutura funcional e filogenética das comunidades são diferente do esperado ao acaso as métricas NRI e NTI de todas as parcelas por tratamento foi comparada a zero, utilizando-se teste t de Student para uma amostra. O teste Shapiro-wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados.

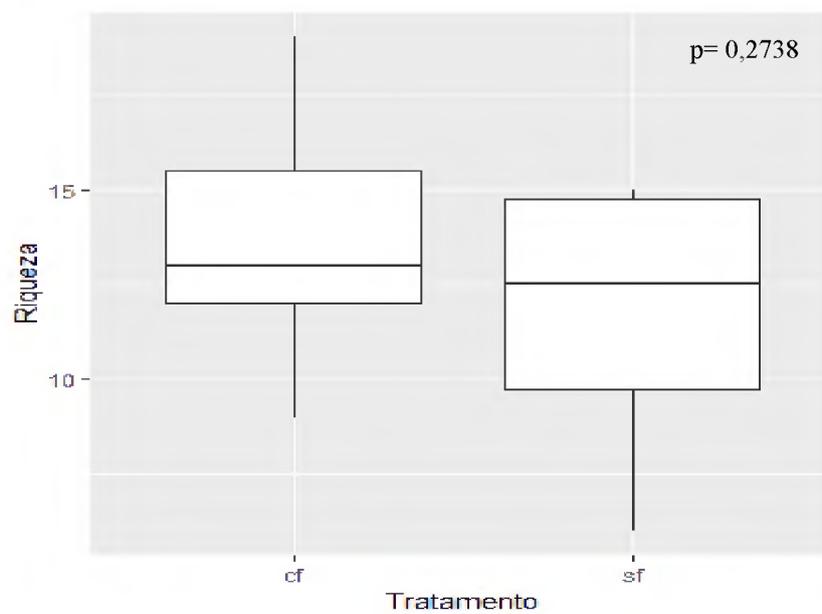
## 4. Resultados

### 4.1 Diversidade taxonômica, funcional e filogenética

Durante todo o período de estudo (nov/2017 a out/2018) foram registrados 1803 indivíduos, pertencentes a 58 espécies e 28 famílias (Tabela 2). A família com maior riqueza para a área amostral foi Poaceae (8 spp.), seguido de Fabaceae (7), Rubiaceae (5), Cyperaceae (3) e Orchidaceae (3), representando cerca de 44, 83% das espécies observadas. Nas parcelas amostradas com indício de queimada, foram registradas 47 espécies e nas parcelas da área sem indício de queimada foram registradas 49 espécies. A curva de acumulação (Figura 3) sugere suficiência da amostragem para determinação da riqueza fitofisionômica. Não foram encontradas diferenças significativas entre as espécies e os tratamentos (Figura 4).



**Figura 3:** Curva de acumulação de espécies para amostragem das parcelas portratamento realizado no platô N1 para áreas com indício de queimada (n=10) e áreas sem indício de queimada (n=10), localizado na Serra do Carajás, Pará.



**Figura 4:** *Boxplots* da riqueza de espécies por tratamento (cf=com ocorrência de queimada; sf=sem ocorrência de queimada).

**Tabela 2:** Lista de espécies amostradas em 20 parcelas da vegetação de Canga na Serra Norte, platô N1. FV: forma de vida (GEO: Geófito; HEM: Hemicriptófito; CAM: Caméfito; FAN: Fanerófito e TER: Terófito) Hab: Hábito; S.P: Síndrome de polinização; S.D: Síndrome de dispersão; Per: plantas perenes (1); Fenofases = Pla: Plântula (1); Fo: presença de folhas (1); Sfo: ausência de folhas (1); Flor: presença de flor (1); Bo: presença de botões florais (1); F.imat: presença do fruto imaturo (1) e F.mad: presença do fruto maduro (1).

Família/Espécie	FV	Hab	S.P	S.D	Per	Pla	Fo	Sfo	flor	Bo	Fi	Fmad
<b>Apocynaceae</b>												
<i>Hemipogon sprucei</i> E. Fourn.	GEO	subarbusto	entomófila	anemocórica	1	0	1	0	1	1	0	0
<i>Mandevilla scabra</i> Hoffmanns.	HEM	liana	entomófila/ornitófila	anemocórica	1	0	1	0	1	0	0	0
<i>Mandevilla tenuifolia</i> (J.C. Mikan) Woodson.	GEO	subarbusto	entomófila	anemocórica	1	0	1	0	1	0	0	0
<b>Asteraceae</b>												
<i>Aspilia attenuata</i> Gardn.	CAM	arbusto	entomófila	anemocórica	1	0	1	1	0	0	0	0
<i>Lepidaploa arenaria</i> (Mart. ex DC.) H. Rob.	FAN	arbusto	entomófila	anemocórica	1	0	1	1	0	0	0	0
<b>Araceae</b>												
<i>Anthurium lindmanianum</i> Engl.	HEM	herbáceo	entomófila	zoocórica	1	1	1	0	0	0	0	0
<b>Bignoniaceae</b>												
<i>Anemopaegma carajasense</i> Gentry.	FAN	arbusto	entomófila/ornitófila	anemocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Bromeliaceae</b>												
<i>Dyckia duckei</i> L.B.Sm.	HEM	herbáceo	ornitófila	autocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Convolvulaceae</b>												
<i>Ipomoea carajasensis</i> D.F. Austin.	HEM	liana	entomófila	autocórica	1	0	1	0	1	0	0	0
<i>Ipomoea cavalcantei</i> D.F. Austin.	GEO	liana	ornitófila	autocórica	1	0	0	1	0	1	0	0
<b>Cyperaceae</b>												
<i>Bulbostylis conifera</i> (Kunth) C.B. Clarke.	TER	herbáceo	anemófila	autocórica	0	0	1	0	1	0	1	1
<i>Rhynchospora barbata</i> (Vahl) Kunth.	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica	1	0	1	1	1	0	1	1

<i>Rhynchospora sp2</i> (Vahl)	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica	1	0	1	1	1	0	1	1
<b>Euphorbiaceae</b>												
<i>Croton subferrugineus</i> Müll. Arg.	FAN	arbusto	entomófila	—	1	0	1	1	0	1	1	0
<b>Eriocaulaceae</b>												
<i>Paepalanthus fasciculoides</i> Hensold, Ann.	TER	herbáceo	—	autocórica	0	1	1	1	1	1	0	0
<b>Erythroxylaceae</b>												
<i>Erythroxylum nelson-rosae</i> Plowman, T.C.	FAN	arbusto	entomófila	zoocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Fabaceae</b>												
<i>Bauhinia pulchella</i> Benth.	FAN	arbusto	quiropterófila	autocórica	1	0	1	0	1	1	0	0
<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene.	CAM	subarbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	0	1	1	1	0
<i>Crotalaria maypurensis</i> Kunth.	TER	subarbusto	entomófila	autocórica	0	0	1	0	0	1	1	0
<i>Galactia jussiaeana</i> Kunth.	CAM	subarbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	0	1	1	0	0
<i>Mimosa acutistipula</i> Barneby.	FAN	arbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	1	1	1	0	0
<i>Mimosa skinneri</i> Barneby.	TER	subarbusto	entomófila	autocórica	0	1	1	0	1	1	0	0
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell).	FAN	arbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Gentianaceae</b>												
<i>Schulthesia benthamiana</i> Klotzch.	TER	herbáceo	entomófila	autocórica	0	0	1	1	1	0	0	0
<b>Lentibulariaceae</b>												
<i>Utricularia physoceras</i> P.Taylor.	TER	herbáceo	entomófila	hidrocórica	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Utricularia sp1</i> P.Taylor.	TER	herbáceo	entomófila	hidrocórica	0	0	1	0	1	0	0	0
<b>Lythraceae</b>												
<i>Cuphea carajasensis</i> Lourteig.	FAN	subarbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	0	1	1	0	0
<b>Malpighiaceae</b>												
<i>Banisteriopsis sp</i> C.B.Rob.	CAM	arbusto	entomófila	anemocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Byrsonima chrysophylla</i> Kunth.	FAN	arbusto	entomófila	anemocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Marcgraviaceae</b>												
<i>Noranthea guianensis</i> Aubl.	FAN	arbusto	ornitófila	zoocórica	1	0	1	0	0	0	0	0

**Melastomataceae**

<i>Brasilianthus carajensis</i> Almeda & Michelangeli.	TER	herbáceo	entomófila	autocórica	0	1	1	0	1	1	0	0
<i>Tibouchina edmundoi</i> Brade, Arch.	FAN	arbusto	entomófila	anemocórica	1	0	1	0	0	0	0	0

**Myrtaceae**

<i>Myrcia</i> sp D.C.	FAN	subarbusto	entomófila	zoocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
-----------------------	-----	------------	------------	-----------	---	---	---	---	---	---	---	---

**Ochnaceae**

<i>Sauvagesia tenella</i> Lam.,Tabl.	TER	herbáceo	entomófila	autocórica	0	0	1	0	1	0	0	0
--------------------------------------	-----	----------	------------	------------	---	---	---	---	---	---	---	---

**Orchidaceae**

<i>Catasetum discolor</i> Lindl.	HEM	herbáceo	entomófila	anemocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Habenaria</i> aff. <i>Nuda</i> Lindl.	TER	herbáceo	entomófila	anemocórica	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Sobralia liliastrum</i> Lindl.	HEM	herbáceo	entomófila/ornitófila/quipeterófila	anemocórica	1	0	1	0	0	0	0	0

**Poaceae**

<i>Axonopus carajasensis</i> M.Bastos.	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Axonopus longispicus</i> ( Döll) Kuhlm.	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica	1	1	1	0	1	0	1	1
<i>Mesosetum filifolium</i> F.T. Hubb.	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Paspalum cinerascens</i> (Döll) A.G.Burn.	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Paspalum lanciflorum</i> Trin.,Sp.Gram.	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica / anemocórica	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Paspalum spissum</i> Swallen.	HEM	herbáceo	anemófila	autocórica	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Sporobolus multiramosus</i> Longhi-Wagner.	TER	herbáceo	anemófila	autocórica anemocórica	0	0	1	0	1	0	1	1
<i>Trachypogon spicatus</i> (L.f) Kuntze.	HEM	herbáceo	anemófila	/ zoocórica	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Trichantheium arctum</i> (Swallen).	TER	herbáceo	anemófila	autocórica	0	0	1	0	1	0	1	1

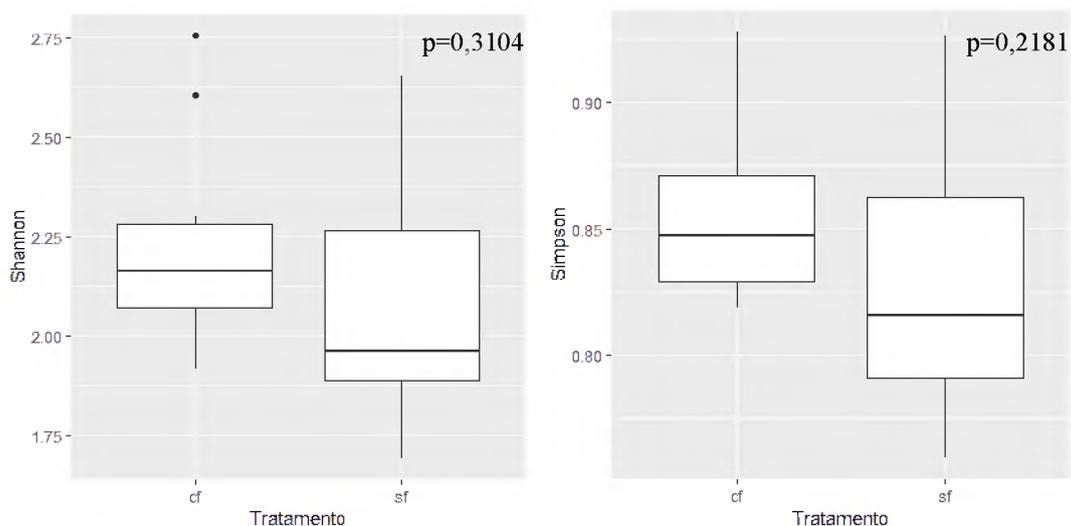
**Phyllanthaceae**

<i>Phyllanthus minutulus</i> Mull.	HEM	herbáceo	—	zoocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
------------------------------------	-----	----------	---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	---

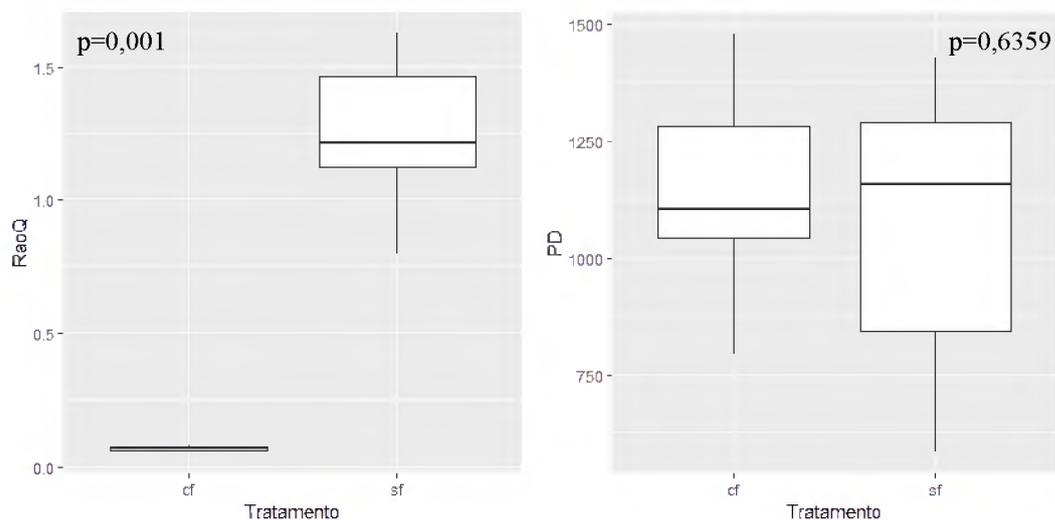
**Polygalaceae**

<i>Polygala adenophora</i> D.C.	TER	herbáceo	entomófila	autocórica	0	0	1	0	1	0	0	0
<b>Rubiaceae</b>												
<i>Borreria sp1</i> G.Mey.	HEM	subarbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	1	1	0	0	0
<i>Borreria sp2</i> G.Mey.	HEM	subarbusto	—	—	1	0	1	1	1	0	0	0
<i>Borreria sp3</i> G.Mey.	HEM	subarbusto	—	—	1	0	1	1	1	0	0	0
<i>Cordia myrciifolia</i> C.H.Perss. & Delprete.	FAN	arbusto	entomófila	zoocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Perama carajensis</i> J.H.Kirkbr.	TER	herbáceo	entomófila	autocórica	0	1	1	1	1	1	0	0
<b>Turneraceae</b>												
<i>Turnera glaziovii</i> Urb., Jahrb. Konigl.	CAM	arbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Turnera melochioides</i> Cambess.	CAM	arbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	0	1	0	0	0
<b>Velloziaceae</b>												
<i>Vellozia glauca</i> Pohl.	CAM	herbáceo	entomófila	autocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Vitaceae</b>												
<i>Cissus erosa</i> Richard.	HEM	liana	entomófila	zoocórica	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Vochysiaceae</b>												
<i>Callisthene microphylla</i> Warm.	FAN	arbusto	entomófila	autocórica	1	0	1	0	0	0	0	0

Para os índices de diversidade taxonômica, Shannon, o teste t de Student não mostrou diferença significativa entre os tratamentos ( $p>0,05$ ), assim como também não difere entre as áreas para o índice de Simpson ( $p>0,05$ ) (Figura 5).



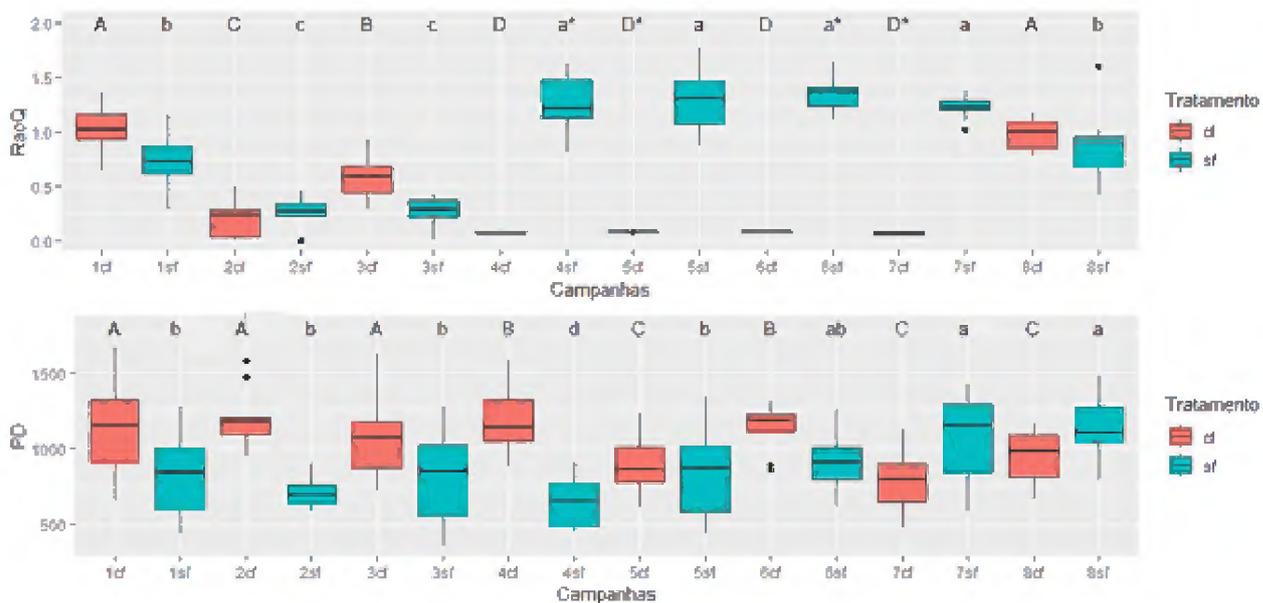
**Figura 5:** *Boxplots* dos índices de diversidade taxonômica (Shannon e Simpson) entre tratamentos cf: área com indício de queimada; sf: área sem indício de queimada, da vegetação de canga couraçada.



**Figura 6:** *Boxplots* do índice de diversidade funcional (RaoQ) e diversidade filogenética (PD) entre tratamentos, com ocorrência do fogo (cf) e sem fogo (sf).

A diversidade funcional mensurada através do RaoQ difere significativamente entre os tratamentos ( $p<0,05$ ) (Figura 6) e através do teste *post*

*hoc* Dunn observou-se diferença significativa entre as oito campanhas, sendo a diversidade funcional menor nas áreas com indício de queimada (Figura 7). A diversidade filogenética não foi estatisticamente diferente ( $p>0,05$ ) entre tratamentos (Figura 6), entretanto há diferenças entre campanhas (Figura 7).



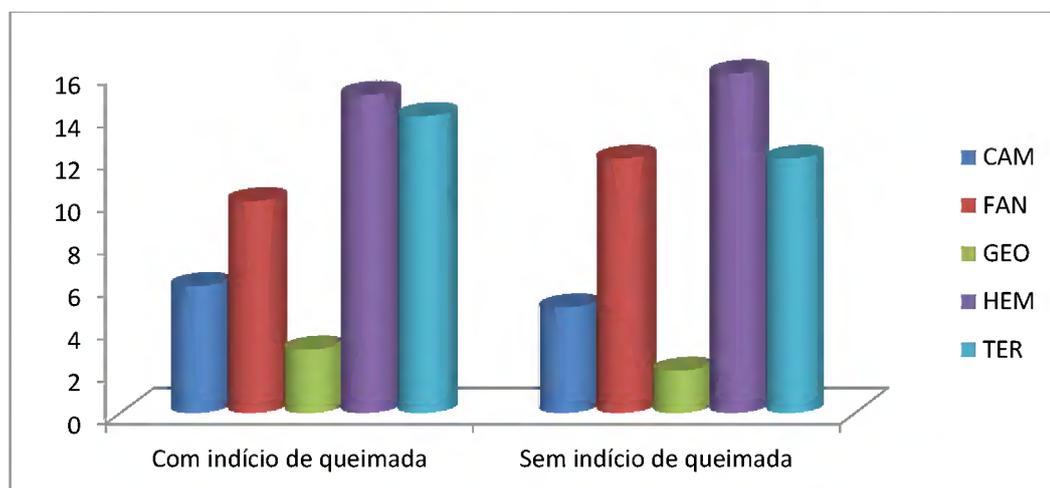
**Figura 7:** *Boxplots* dos índices de diversidade funcional (RaoQ) e diversidade filogenética (PD), das espécies amostradas por campanhas e tratamento. Letras diferentes maiúsculas representam diferença entre áreas com indício de queimada e letras minúsculas representam diferença entre áreas sem indício de queimada por campanha. O asterisco apresenta diferença entre tratamentos.

#### 4.2 Atributos funcionais

Considerando o total de 58 espécies, 49 são perenes (nove anuais). Vinte e sete são herbáceas, 16 arbustivas, quatro lianas, 11 subarbustivas e nenhuma arbórea. Considerando as síndromes, a maioria das espécies são entomófilas ( $n=36$ ) e autocóricas ( $n=30$ ) (Tabela 2).

Em relação às formas de vida, foram amostradas 22 ( $n=164$ ) fanerófitas, 31 ( $n=465$ ) hemiptófitas, 11 ( $n=94$ ) caméfitas, 26 ( $n=235$ ) terófitas e 5 ( $n=42$ ) geófitas. Parcelas com indício de queimada tiveram a maior riqueza de espécies hemiptófitas e terófitas, ao passo que parcelas sem indício de queimada apresentaram maior riqueza em espécies terófitas e fanerófitas (Figura 8). A

riqueza de espécies com relação às formas de vida em cada tratamento não foi significativa (Figura 8). Da mesma forma, para o ciclo de duração (perene e anual), não houve diferença significativa entre as parcelas amostradas nos diferentes tratamentos ( $p=0,175$  e  $p=0,228$ , respectivamente) (Figura 9).



**Figura 8:** Riqueza das formas de vida de todas as espécies amostradas em cada tratamento. CAM=caméfitas, FAN=fanerófitas, GEO=geófitas, HEM=hemicriptófitas e TER=terófitas ( $Qui^2=7,26$ ;  $p=0,241$ ).

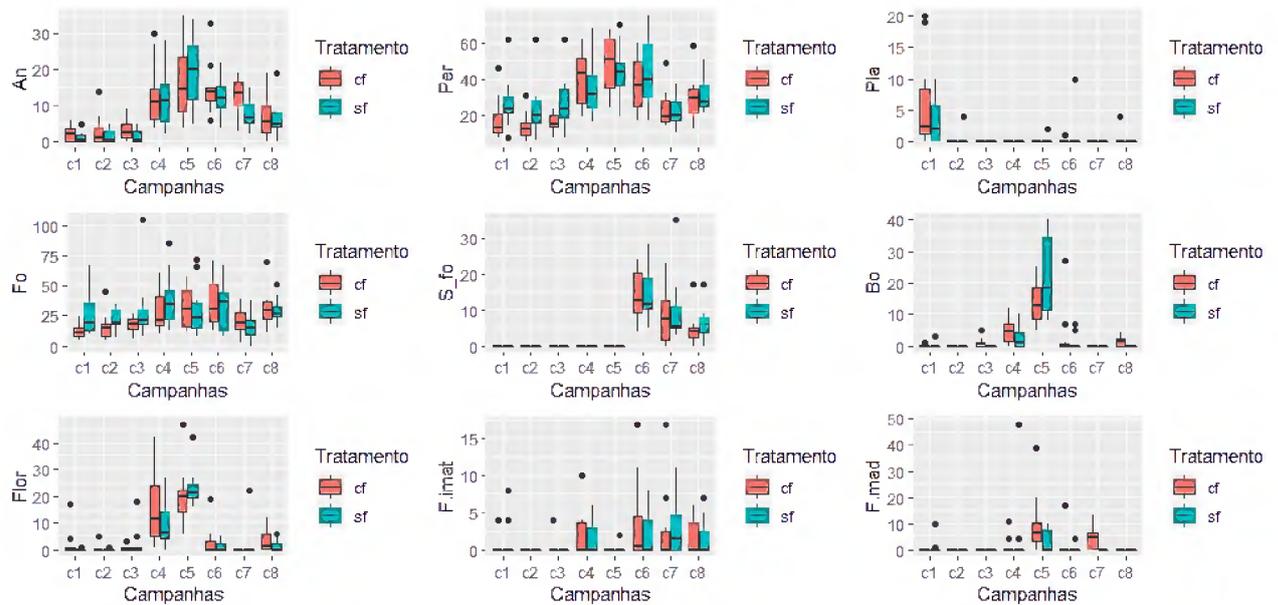
Em relação à fenologia, a maioria das espécies ( $n=56$ ) foi amostrada na fase vegetativa (presença e ausência foliar e plântula), enquanto que ( $n=37$ ) foram amostrados na fase reprodutiva (botão floral, flor, fruto imaturo e/ou fruto maduro).

A floração apresentou distribuição por quase todo período de estudo, com pico de espécies florescendo no final da estação chuvosa. Alguns meses após a ocorrência do fogo foi possível observar as primeiras manifestações da floração (presença do botão foral e floral aberta). O teste de variância Kruskal-wallis não mostrou significância entre tratamentos ( $p>0,05$ ) (Figura 9).

A produção de frutos ocorreu em todo período seco entre os tratamentos, entretanto com algumas observações durante o período chuvoso. O teste kruskal-wallis não mostrou diferença entre as campanhas por tratamento ( $p=0,08$ ) (Figura 9).

A fase vegetativa (plântula, presença e ausência foliar) na comunidade de canga apresentou-se distribuída por quase todo período estudado (Figura 9). Após a ocorrência do fogo, observou-se maior porcentagem de espécies em estágios de

plântula, seguido pela fenofase, de presença foliar. Mas, o teste kruskal-wallis mostra que as fenofases não diferem entre as campanhas por tratamento (com ocorrência de queimada e sem ocorrência de queimada) ( $p=0,159$ ;  $p=0,237$ ;  $p=0,1338$ , respectivamente).

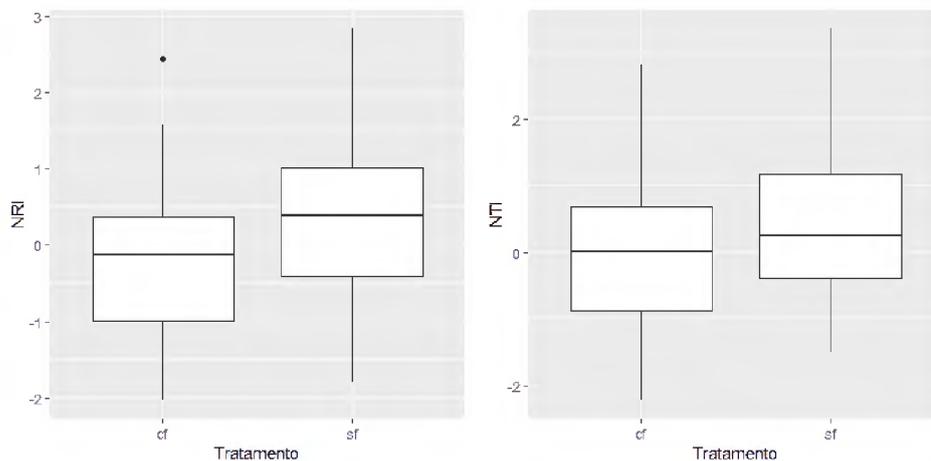


**Figura 9:** *Boxplots* da relação de abundância das espécies por tratamento (com índice de queimada e sem índice de queimada) com os traços funcionais relacionados com a duração do ciclo de vida e das fenofases e os períodos chuvoso (C1,C2,C3,C4 e C5) e período seco (C6,C7 e C8). An=anual, Per=perene, Pla=plântula, Fo=presença das folhas, S\_fo=ausência das folhas,Bo=botão floral, Flor=flor aberta, F.imat=fruto imaturo e F.med=fruto maduro. C1=novembro, C2=janeiro, C3=fevereiro, C4=março, C5=abril, C6=junho, C7=agosto, C8=outubro. Tratamento: cf=com fogo e sf=sem fogo.

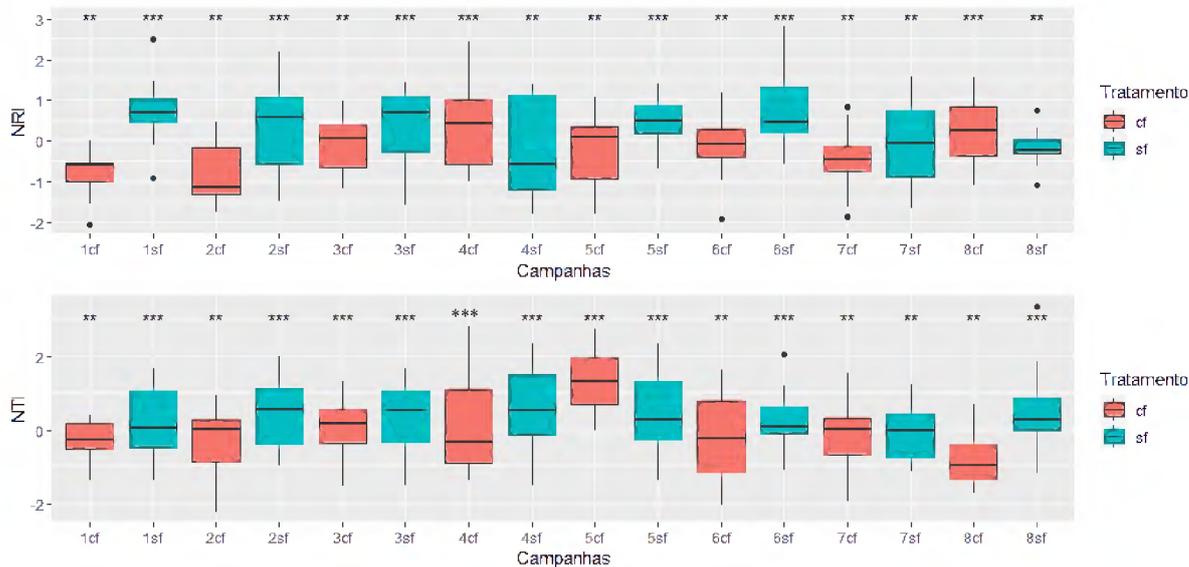
#### 4.3 Estrutura funcional e filogenética

De modo geral, dos componentes que definem a estrutura funcional nas áreas com índice de queimada, o NRI indica um agrupamento significativo ( $p=0,03$ ). Assim como, o NTI foi significativamente maior que zero ( $p=0,03$ ), indicando também agrupamento funcional nas áreas com índice de queimada. Para as áreas sem índice de queimada o NRI também mostrou valor de  $p$  significativo indicando que a estrutura funcional é diferente de zero ( $p=0,02$ ). Entretanto, o valor de NTI indica uma estrutura funcional não diferente do acaso ( $p=0,2$ ) (Figura 10).

Embora a média do índice NRI e NTI sejam maiores que zero, indicando agrupamento nas comunidades, algumas parcelas por tratamento foram significativamente menores que zero, indicando superdispersão funcional (Figura 11).

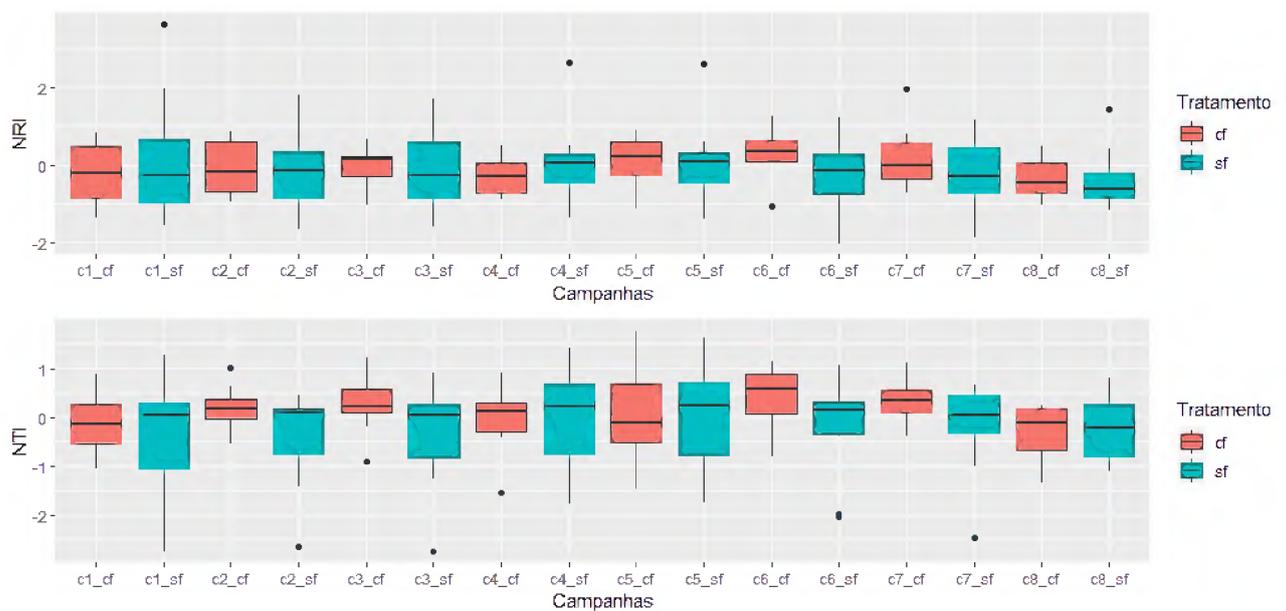


**Figura 10:** *Boxplots* dos índices NRI (índice de parentesco líquido) e NTI (índice de táxon mais próximo) entre campanhas por tratamento.



**Figura 11:** *Boxplots* dos índices de estrutura funcional ao longo das campanhas por tratamento na região de Canga. NRI = índice de parentesco líquido; NTI = índice do táxon mais próximo. \*\*\* indica agrupamento; \*\* indica superdispersão funcional.

O NRI e NTI calculado por meio do modelo nulo sem constrição não foi sensível o suficiente para mostrar diferença significativa de zero na estrutura filogenética das comunidades nos tratamentos com e sem ocorrência do fogo (Figura 12).



**Figura 12:** *Boxplots* dos índices de estrutura filogenética ao longo das campanhas por tratamento na região de Canga. NRI = índice de parentesco líquido; NTI = índice do táxon mais próximo.

## 5. Discussão

Os resultados do presente estudo contribuem com informações sobre a funcionalidade acerca dos eventos que contribuem para a formação da estruturação e diversidade das comunidades na canga. Como esperado, os dados mostraram menores valores de diversidade funcional nas áreas com ocorrência de queimada, e diferente do previsto, não foi observado o mesmo para a diversidade filogenética e taxonômica. Foi encontrado agrupamento funcional para as áreas onde ocorreu ação do fogo, enquanto que a estrutura filogenética não diferiu da expectativa nula. Além disso, observamos que o efeito da ação do fogo sobre as características fenológicas nas áreas com indício de queimada não mostrou alteração pela ação do mesmo.

A redução da diversidade funcional observada para as áreas que passaram por queimada na canga é entendida pela ação do fogo como filtro ambiental, pois quando a adversidade ambiental é alta, a pressão seletiva promovida pelos filtros ambientais (altas temperaturas, mudanças na disponibilidade de luz, disponibilidade de nutrientes, e outros) resulta em espécies com adaptações mais similares, o que permite a sobrevivência em tais adversidades (Weiher; Keddy, 1995). Considerando que espécies mais próximas funcionalmente tendem a ser ecologicamente mais semelhantes e com caracteres específicos primordiais para seu sucesso em determinados ambientes (Sobral; Cianciaruso, 2012). Por outro lado, a diversidade taxonômica não mostrou uma relação de alteração provocada pela ação do fogo entre as campanhas, sendo possível determinar que mesmo a ação do fogo atuando como filtro nas comunidades amostradas, não houve redução da riqueza e abundância de espécies entre os diferentes tratamentos.

A diversidade filogenética mostrou valores que diferem do acaso nas áreas em que ocorreram queimadas. Entretanto, os dados de diversidade filogenética (PD) mostraram oscilação entre as campanhas, podendo haver uma possível similaridade entre as espécies. Esta possível similaridade, no entanto, não condiz com características ecológicas limitadoras impostas pela ação do fogo, podendo ser interpretada por múltiplas origens, como por exemplo, através de características estruturantes de um

ambiente restritivo como o da canga (e.g. forte sazonalidade, altas concentrações de metais pesados, solo ácido e outros), levando outras características do ambiente explicar a evolução nas linhagens das espécies nas comunidades estudadas.

Em relação aos resultados da estrutura funcional, de modo geral, houve um predomínio de assembleias com padrão de agrupamento funcional (observado e esperado), destacado por valores positivos tanto por NRI quanto por NTI, para a vegetação de canga, o que sugere atuação do fogo como filtro ambiental. Ou seja, a maioria das espécies na comunidade da canga couraçada seria formada por espécies funcionalmente próximas. Partindo do pressuposto de que espécies funcionalmente próximas conservam similaridade advinda de processos ecológicos comuns. Estudos de comunidades em campos rupestres (ver Jacobi et al., 2007; Porembski, 2007) apontam influência dos filtros ambientais como estruturante das comunidades, enfatizando adaptações ligadas a pressão seletiva pelos filtros ambientais, tais como à tolerância ao estresse (e.g. baixo potencial hídrico). Isso reforça junto ao presente estudo o provável agrupamento das comunidades de canga pela ação do filtro ambiental (fogo) como selecionador do ambiente.

Apesar de os resultados apontarem para atuação do filtro ambiental (fogo) como estruturador das comunidades estudadas na canga, Kraft et al. (2015) aponta para um cuidado necessário no uso do termo filtro ambiental como único estruturador das comunidades, visto que pode haver outros fatores que também influenciam na estrutura das comunidades. Como o observado em algumas campanhas ao longo do estudo que apontam superdispersão para as comunidades, o que indica que o filtro ambiental não é o fator predominante na determinação estrutural nas comunidades analisadas. Ao contrário, fatores dependentes de densidade, dentre eles a competição, podem atuar como um fator estruturante. Sendo assim, uma discussão desenvolvida apontando filtro ambiental, no caso do estudo o fogo nas comunidades de canga, como único estruturador deve ser cauteloso e com a ciência de que pode haver outros fatores que influenciam também os processos em questão (mostrado acima) e podem gerar resultados semelhantes, mas que não foram explorados nesse trabalho (Kraft et al., 2015; Zappi et al., 2017).

Diferente do previsto, a estrutura filogenética em cada tratamento não difere do esperado ao acaso ( $p > 0,05$ ). E quando analisamos as parcelas por tratamento nas

comunidades da canga, a estrutura filogenética também não diferiu do acaso. Dessa forma, a expectativa de que o fogo atuaria na estruturação filogenética, levando a um agrupamento não foi confirmado. Podemos relacionar tal fato a fatores divergentes, como dispersão, espécies ecologicamente equivalentes e outros que estariam mascarando a atuação do fogo como filtro ambiental sobre a estrutura filogenética nas comunidades da canga, visto que foi possível a observação do agrupamento na estrutura funcional.

O trabalho também levanta a hipótese de que o efeito da queimada ocorrido em agosto de 2017 teria alterado os eventos fenológicos, entretanto, apesar das áreas que haviam queimado apresentarem mudança com relação à abundância de espécies, não houve a antecipação dos eventos fenológicos.

As fenofases apresentaram relação com fatores sazonais bem marcados da região de canga. Trabalhos realizados por Carmo; Morellato (2000); Funch et. al. (2002) e Oliveira; Paula (2001) apresentam período de floração maior na estação chuvosa, argumentando que esta semelhança nos padrões de floração podem estar relacionada ao fato das áreas estarem sob clima sazonal, isto é, com estação seca e úmida bem marcadas.

Morellato (1991, 1995) relata que a floração e o surgimento de plântulas (perenes e anuais) na transição estação seca para úmida ou início da estação úmida, pode ser atribuídos à redução do estresse hídrico causado pelas primeiras chuvas após o período de seca, ao aumento do fotoperíodo e à diminuição da temperatura. Estes mesmos fatores podem estar influenciando o padrão de floração e a grande abundância de plântulas observada para a vegetação de canga, embora não tenham sido descritas correlações entre as características climáticas e as fenofases.

A frutificação das espécies de canga variou com a estação do ano, sendo predominante no período seco. Tais resultados alinham-se com Chapman et al. (2005), que afirmam que o amadurecimento dos frutos pode ocorrer quando as condições de dispersão são ideais. As sementes dispersas pelo vento podem amadurecer durante a estação seca quando os ventos são mais fortes e as folhas são ausentes, permitindo uma maior distância de dispersão (Liebsch; Mikich, 2009; Morellato et al., 2016).

Em contraste, o período de frutificação para algumas espécies ocorreu durante a estação chuvosa, talvez como resultado do aumento dos níveis de umidade necessários

para a produção de frutos. A frutificação pode ser diretamente responsiva às condições climáticas (por exemplo, frutos carnosos são produzidos quando a água necessária para produzi-las é abundante (Talora; Morellato, 2000).

Mostramos também que a ação do fogo sobre as características vegetativas das plantas na canga não foi significativamente expressivas, inferindo que tais eventos estariam associados a processos sazonais (seca e chuva). Para a maioria das observações, as espécies comportaram-se principalmente como “sempre-verdes”, ou seja, queda de até 25% das folhas. Infere-se que tal comportamento esteja associado a adaptações às condições extremas da fitofisionomia da canga, que mantêm mais sua copa, de modo a economizar recursos. Porém, podem carregar o custo, com prolongamento da manutenção das folhas antigas, que faz com que a eficiência fotossintética no uso do nitrogênio decline nessas folhas.

Já, as espécies que apresentaram queda de folhas acentuada na época seca (chegando a perder 100% de sua copa) podem ser entendidas na vegetação de canga segundo Franco et al. (2004), que descreve que espécies que reduzem as folhas como um modo de evitar, principalmente, perda excessiva por transpiração, ou seja, perda de água em função do estresse hídrico em locais com forte sazonalidade e seca bem definida.

### **Conclusão**

Nossos resultados sugerem que o fogo foi um bom preditor para entender a estrutura funcional das comunidades de canga. Entretanto, não explica de uma forma clara a estrutura filogenética, podendo inferir a estrutura filogenética das comunidades da canga por outros mecanismos. Além disso, o estudo traz importante contribuição ao conhecimento dos padrões fenológicos da flora essencialmente singular da canga, apontando para a necessidade de estudos de manejo e conservação das espécies da flora das cangas de Carajás.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S.M; SILVA, L.C; CARDOSO, M.R; CERQUEIRA. P.V; JUAN, L; SANTOS, M.P.D. The effects of oil palm plantations on the functional diversity of Amazonian birds. **Journal of Tropical Ecology**, p. 1-16. 2006.

ALVARES, C.A; STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C; GONÇALVES, J.L.M; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorolog is the Zeitschrift**, v.22, p.711-728. 2013.

BOTTA-DUKÁT, Z. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. **Journal of Vegetation Science**, v.16, p.533-540. 2005.

BOWMAN, D.M.J.S; BALCH, J; ARTAXO, P; BOND, W.J. The human dimension of fire regimes on Earth. **Journal of Biogeography**, v. 38, p.2223-2236. 2011.

BURNS, K. C. Is there limiting similarity in the phenology of fleshy fruits? **Journal of Vegetation Science**, v. 16, p. 617-624. 2005.

CADOTTE, M.W. Competition-colonization trade-offs and disturbance effects at multiple scales. **Ecology**, v. 88, n. 4, p. 822-829. 2007.

CADOTTE, M.W; CARSCADDEN, K; MIROTCHNICK, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecology processes and services. **Journal Applied of Ecology**, v.48, p.1079-1087. 2011.

CHAVES, P.P; FERREIRA, L.V. O efeito da sazonalidade da precipitação na florística e na estrutura da regeneração natural dos campos rupestres da Serra Norte de Carajás, Pará, Brasil. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, v.11, n.1, p.103-116. 2016.

CHAPMAN, C.A.; CHAPMAN, L.J.; STRUHSAKER, T.T.; ZANNE, A.E.; CLARCK,

C.J.; POULSEN, J.R. A long-term evaluation of fruiting phenology: importance of climate change. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, p.31–45. 2005.

CARMO, F.F; KAMIRO, L.H.Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte, 3i, 2015. 553p.

CARMO, M.R.B. & MORELLATO, L.P.C. **Fenologia de árvores e arbustos das matas ciliares da Bacia do rio Tibagi, Estado do Paraná, Brasil**. In *Matas Ciliares: conservação e recuperação* (R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho eds.) Edusp, São Paulo, 2000. p. 125-141.

CAVENDER-BARES, J; KEEN, A; MILLES, B. Phylogenetics structure of Floridian plant communities depends on taxonomic and spatial scale. **Ecology**, v.87, n.7, p.109-112. 2006.

CAVENDER-BARES, J; KOZAK, K.H; FINE, P.V.A; KEMBEL, S.W. The merging of community ecology and phylogenetic biology. **Ecology Letters**, v.12, p.693-715. 2009.

DE BELLO, F; PRICE, J.N; MULLER, T.M; L, J; ZOBEL, M; THULLER, W; GERHOLD, P; GOTZENBERGER; LAVERGNE, B; LEP, J; ZOBEL, K; PARTEL, M. Functional species pool framework to test for biotic effects on community assembly. **Ecology**, v. 93, n. 2, p. 2263-2273. 2012.

DÍAZ, S; CABIDO, M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646-655. 2001.

DUNCK, B; ALGARTE, V.M; CIANCIRUSO, M.V; RODRIGUES, L. Functional diversity and trait–environment relationships of periphytic algae in subtropical floodplain lakes. **Ecological indicators**, v. 67, p. 257-266. 2016.

FAEGRI, K; VAN Der PIJL, L. **The principles of pollination ecology**. Oxford, Pergamon Press. 1979.

FRANCO, A.C.; BUSTAMANTE, M.; CALDAS, L.S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C.; KOZOVITS, A.R.; RUNDEL, P. & CORADIN, V.T.R. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees**, v. 19, p. 326-335. 2004.

FUKAMI, T; BEZEMAR, T.M; MORTIMER, S.R; VAN DER PUTTEN, W.H. Species divergence and trait convergence in experimental plant community assembly. **Ecology Letters**, v. 8, n. 12, p. 1238-1290. 2005.

FUNCH, L. S., FUNCH, R. & BARROSO, G. M. Phenology of gallery and montane forest in the Chapada Diamantina. **Biotropica**, v. 34, p. 40-50. 2002.

GASTAUER, M; MEIRA-NETO, J.A.A. Avoiding inaccuracies in tree calibration and phylogenetic community analysis using Phylocom 4.2. **Ecological Informatics**, v. 15, p. 85–90. 2013.

GETZIN, S. 2007. **Structural fire effects in the world's savannas. A synthesis for biodiversity and land-use managers**. VDM Verlag, Saarbrücken.

GOLDER. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA – Projeto Ferro Carajás S11D. Relatório Técnico**. Belo Horizonte, 2010. 1000p.

GOMÉZ, J.P; BRAVO, G.A; BRUMFIELD, R.T; TELLO, J.G; GADENA, C.D.A phylogenetic approach to disentangling the role of competition and hábitat filtering in community assembly of Neotropical forest birds. **Journal of Animal Ecology**, v. 79, 1181–1192. 2010.

JACOBI, C.M; CARMO, F.F; VICENT, R.C; STEHMANN, J.R. Plant communities on iron outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 2185- 2200. 2007.

KEMBEL, S.W., COWAN P.D., HELMUS M.R., CORNWELL, W.K., MORLON, H., ACKERLY, D.D., BLOMBERG, S.P. & WEBB, C.O .Picante: R Tools for Integrating Phylogenies and Ecology. **Bioinformatics**, v. 26, p. 1463–1464.2010.

KRAFT, N.J.B; ADLER, P.B; GODOY, O; JAMES, E.C; FULLER, S; LEVINE, J.M. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. **Functional Ecology**, v. 29. p.592-599. 2015..

LIEBSCH, D; BOS MIKICH, S. Fenologia reprodutiva de espécies vegetais da Floresta Ombrófila Mista do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 2, p. 375-391. 2009.

LALIBERTÉ, E; LEGENDRE, P; SHIPLEY, B.A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299-305. 2010.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. Measuring functional diversity (FD) from multiple traits, and other tools for functional ecology. R package version 1.0-12. 2018.

LOIOLA, P.DP; CIANCIARUSO, M.V; SILVA, I.A; BATALHA, M.A. Functional diversity of herbaceous species under different fire frequencies in Brazilian savannas. **Flora**, v. 205, p. 674-681. 2009.

MAGURRAN, A.E. **Measuring biological diversity**. Oxford: Blackwell, 2004. 71p.

MARTÍN-LÓPEZ, B; GONZÁLEZ, J; DÍAZ, S; CASTRO, I; GARCÍA-LLORENTE, M. Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. **Revista Ecosistemas**, v. 16, n. 3, p. 69-80. 2007.

MARTINS, F. R.; BATALHA, M. A. Formas de vida, Espectro Biológico de Raunkiaer e Fisionomia da Vegetação. In Felfili, J.M.; Eisenlohr, P. V.; Melo, M.M.R.F.; Andrade, L.A.; Meira Neto, J.A.A. **Fitossociologia no Brasil**: UFV, 2011. p. 44-85.

MOTA, N.F.O; SILVA, L.V.C; MARTINS, F.D; VIANA, P.L. Vegetação sobre Sistemas Ferruginosos da Serra dos Carajás. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y (Orgs). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i, 2015. 289-313p.

MOTA, N.F.O; WATANABE, M.T.C; ZAPPI, D.C; HIURA, A.L; PALLOS, J; VIVEROS, R.S; GIULIETTI, A.M; VIANA, P.L. Cangas da Amazônia: a vegetação única de Carajás evidenciada pela lista de fanerógamas. **Rodriguésia**, v.69, n.3, p. 1435-1488. 2018.

MORELLATO, L.P.C. 1991. **Fenologia de árvores, arbustos e lianas em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil**. Tese de doutorado, Universidade de Campinas, Campinas.

MORELLATO, L.P.C. **As estações do ano na floresta**. In **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana**. Campinas. Unicamp, 1995. p. 37-41.

MORELLATO, L.P.C; TALORA, D.C; TAKAHASI, A; BENCKE, C.C; ROMERA, E.C; ZIPARRO, V.B. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. **Revista Biotropica**, v. 32, p. 811-823. 2000.

MORELLATO, L.P.C; ALBERTON, B; ALVARADO, S.T; BORGES, B; BUISSON, E; CAMARGO, M.G.G; CANCIAN, L.F; CARSTENSEN, D.W; ESCOBAR, D.F.E.E; LEITE, P.T.P; MENDOZA, I; ROCHA, N.M.W.B; SANNA, T.F.S; STAGGEMEIER, V; STREGER, A.S; VARGAS, B.C; PERES, C.A. Linking plant phenology to conservation biology. **Biological Conservation**, v. 195, p. 60-72.

NEVES, D.R.M; DAMASCENO-JUNIOR, G.A. Post-fire phenology in a *campo sujo* vegetation in the Urucum plateau, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Brazilian Journal Ecology**, v. 71, n. 4, p. 881-888. 2010.

NUNES, J.A; SCHAEFER, C.E.G.R; FERREIRA, W.G; NERI, A.V; CORREA, G.R; ENRIGHT, N.J. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás plateau, Brazilian eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, p. 2097–2110. 2015.

OLIVEIRA, P.E.A.M. & PAULA F.R. Fenologia e biologia reprodutiva de plantas de matas de galeria. In Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria. **EMBRAPA-CEPAC**, p. 303-332. 2001

PARITSIS, J; RAFFAELE, E; VELEN, T.T. Vegetation disturbance by fire affects plant reproductive phenology in a shrubland community in northwestern Patagonia, Argentina. **Journal of Ecology**, v. 30, n. 3, p. 1-9. 2006.

PAVOINE, S; VALLET, J; DUFOUR, A.B; GACHET, S; DANIEL, H. On the challenge of treating various types of variables: application for improving the measurement of functional diversity. **Oikos**, v. 118, p. 391-402. 2009.

PAVOINE, S.; BONSALL, M. B. Measuring biodiversity to explain community assembly: a unified approach. **Biological Reviews**, p. 792–812. 2010.

PAUSAS, J.G; VERDÚ, M. The Jungle of Methods for Evaluating Phenotypic and Phylogenetic Structure of Communities. **BioScience**, v.60, n.8, p. 614-615. 2010.

PEREIRA, S.H.F. **Pedogênese e geoambientes como subsídios à criação do Parque Estadual das Serras do Ouro, porção sul do Espinhaço-MG**. 2009.117f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 4, p. 579-586. 2007.

SAN MARTÍN-GAJARDO, I. S; MORELLATO, L.P.C. Fenologia de species de Rubiaceae do sub-bosque em floresta Atlântica no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, p. 299-309. 2003.

SCHAEFER, C.E.G.R; SIMAS, F.N.B; MENDONÇA, B.A.F; SABOYA, A.S; FERREIRA JÚNIOR, W.G; NUNES, J.A; CORREA, G.R. Geodiversidade dos Ambientes de Canga na Região de Carajás – Pará. **Relatório técnico Vale do Rio Doce**, 2008. 75p.

SCHAEFER, C.E.G.R; CÂNDIDO, H.G; CORRÊA, G.R; PEREIRA, A; NUNES, J.A; SOUZA, O.F; MARINS, A; FERNANDESFILHO, E; KER, J.C. Solos desenvolvimento sobre canga ferruginosa no brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. In: In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y (Orgs). **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio culturale serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i, 2015. 77-102p.

SILVA, M. F. F. Análise florística da vegetação que cresce sobre canga hematítica em Carajás - Pará (Brasil). **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**. Pará, v. 7, n. 1, p. 79-106. 1991.

SILVEIRA, E. C; CARDOSO, A. L. R; ILKIU-BORGES, A. L; VON ATZIGEN, N. Flora Orquidológica da Serra dos Carajás, Estado do Pará. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeld**, v.11, n.1, p. 75-87. 1995.

SOBRAL, F.L; CIANCIARUSO, M.V. Estrutura filogenética e funcional de assembléias (re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 617-631. 2012.

STCP. **Plano de manejo da Floresta Nacional de Carajás**. Curitiba: Diagnóstico Engenharia de Projetos Ltda., 2016. 190p.

TALORA, D.C; MORELLATO, P.L.C. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 1, p. 13-26. 2000.

The Angiosperm Phylogeny Group IV. **2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APGIV**. Botanical Journal of the Linnean Society 161, 105–121.

VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants**. New York, Springer Verlag. 1982.

VIANA, P.L; MOTA, N.F.O; GIL, A.S.B; SALINO, A; ZAPPI, D.C; HARLEY, R.M;ILKIU-BORGES, A.L; SECCO, R.S; ALMEIDA, T.E; WATANABE, M.T.C; SANTOS, J.U.M; TROVÓ, M; MAURITY, C; GIULIETTI, A.M. Flora das cangas da Serra de Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. **Rodriguésia, Brasil**, v. 5, n. 67, p. 1107-1124. 2016.

VIOLLE, C; NAVAS, M. L; VILE, D; KAZAKOU, E; FORTUNEI, C; HUMMEI, I;GARNIER, E. Let the concept of trait be functional. **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882-892. 2007.

WEBB, C. Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: An example for rain forest trees. **The American Naturalist**, v. 156. p. 145-155. 2000.

WEBB, C. O; ACKLERLY, D.D; MCPEEK, M.A; DONOGHUE, M.J. Phylogenies and community ecology. **Annual Reviews Ecology Systematic**, v. 33, p. 475 505. 2002.

WEBB, C.O; DONOGUE, M.J. Phylomatic: tree assembly for applied phylogenetics. **Molecular Ecology Notes**, v. 5, p. 181-183. 2005.

WEBB C.O; ACKERLY, D.D ; KEMBEL, S.W. Phylocom: Software for the Analysis of Phylogenetic Community Structure and Trait Evolution. **Bioinformatics**, v. 24, p. 2098–2100. 2008.

WHEIHER, E; KEDDY, P.A. Assembly rules, Null Models, and Trait Dispersion: New Questions from Old Patterns. **Oikos**, v. 74, p. 159-164.

ZAMITH, L.R; SCARANO, F.R. Produção de mudas de espécies das restingas do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, n. 1, p. 161-176. 2004.

ZAPPI, D.C; MORO. M.F. MEAGHER, T.R; LUGHADHA. Plant biodiversity drivers in Brazilian Campos Rupestres: insights from phylogenetic structure. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2141.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. New Jersey, 1996. 960p.