



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Departamento de Botânica

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



CRISTIANE DIAS E SARMENTO

**Composição, diversidade e estrutura da vegetação lenhosa em
fitofisionomias savânicas do Cerrado e seus reflexos no
estoque de carbono na Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Biologia Vegetal do Departamento de Botânica do
Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal
de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Biologia Vegetal.**

**Área de Concentração: Fisiologia Vegetal e Ecologia /
Estrutura e Dinâmica de Comunidades Vegetais**

BELO HORIZONTE – MG

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Departamento de Botânica

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



UFMG

CRISTIANE DIAS E SARMENTO

**Composição, diversidade e estrutura da vegetação lenhosa em
fitofisionomias savânicas do Cerrado e seus reflexos no
estoque de carbono na Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Biologia Vegetal do Departamento de Botânica do
Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal
de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Biologia Vegetal.**

**Área de Concentração: Fisiologia Vegetal e Ecologia /
Estrutura e Dinâmica de Comunidades Vegetais**

Orientador: Prof. Dr. Ary Teixeira de Oliveira Filho

Universidade Federal de Minas Gerais

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Vasconcelos Eisenlohr

Universidade do Estado do Mato Grosso

BELO HORIZONTE – MG

2014

043

Sarmiento, Cristiane Dias e.

Composição, diversidade e estrutura da vegetação lenhosa em fitofisionomias savânicas do Cerrado e seus reflexos no estoque de carbono na Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil [manuscrito] / Cristiane Dias e Sarmiento. - 2014.

91 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Ary Teixeira de Oliveira Filho. Co-orientador: Pedro Vasconcellos Eisenlohr.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Botânica.

1. Cerrado Minas Gerais - Teses. 2. Cerrado denso. 3. Cerrado rupestre. 4. Estrutura comunitária. 5. Estoque de carbono. 6. Cipó, Serra do - Teses. 7. Botânica - Teses. I. Oliveira Filho, Ary Teixeira. II. Eisenlohr, Pedro Vasconcellos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Botânica. IV. Título.

CDU: 581



UFMG

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal
Universidade Federal de Minas Gerais
ICB - Departamento de Botânica

*Dissertação defendida e aprovada em 14 de março de 2014,
pela Banca Examinadora constituída pelos professores:*

Dr. Ary Teixeira de Oliveira Filho – orientador – **UFMG**

Dr. José Roberto Rodrigues Pinto - **UNB**

Dr. Marcel Giovanni Costa França - **UFMG**

Agradecimentos

À minha família e aos amigos pregressos, que sempre, mas especialmente nessa fase da minha vida, me apoiaram na busca da minha felicidade, me incentivando a seguir no caminho das boas atitudes. Ao meu orientador, que acreditou no meu potencial, me acolheu com compreensão e se tornou, além de um exemplo, um amigo. Ao meu coorientador, que, com paciência e dedicação, auxiliou na minha condução até este ponto. Aos meus queridos colegas do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal - novos amigos - pelo companheirismo incondicional, preciosas ajudas em campo e nas identificações e também pelas valiosas contribuições ao meu desenvolvimento cognitivo, durante o curso e na redação deste manuscrito. Foi graças à ajuda de todos vocês que este trabalho pode ser realizado. Vocês participam da minha história, integrando o rol das pessoas que mais admiro. Contem com a minha gratidão e pronta disponibilidade para retribuição. Aos colegas que, mesmo sem conhecer, me ajudaram nas identificações mais complicadas. Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais e às instituições que me apoiaram: Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, Parque Nacional da Serra do Cipó e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Sumário

Resumo	01
Abstract	01
Introdução Geral	03
Capítulo I -Padrões determinantes da estrutura comunitária em Cerrado Denso e Cerrado Rupestre na Serra do Cipó, Minas Gerais, e suas implicações para a conservação do Bioma Cerrado	10
Introdução	10
Material e Métodos	13
Resultados	18
Discussão	34
Conclusões	40
Considerações Finais	40
Agradecimentos	41
Capítulo II - Studies related to carbon stores in the Brazilian Cerrado: what have we learned so far?	42
Abstract	42
Resumo	42
Introduction	43
Characteristics of carbon stores in Cerrado	45
Methods of carbon measurement in Cerrado phytophysiognomies	48
Possible themes which lack research	51
Final considerations	54
Acknowledgments	55
Capítulo III - Estimativas de estoque de carbono para cerrados sobre solo profundo e solo rochoso no Parque Nacional da Serra Do Cipó, Minas Gerais, Brasil	56
Introdução	56
Material e Métodos	58
Resultados	62
Discussão	65
Conclusões	69
Agradecimentos	70
Referências Bibliográficas	71
Apêndice 1	83
Apêndice 2	91

Resumo

É eminente a necessidade de restauração e preservação da biodiversidade e do potencial de sequestro de gás carbônico atmosférico pela vegetação do Bioma Cerrado. O detalhamento dos dados fitofisionômicos, contudo, tem grande importância para a aplicação do conhecimento científico produzido, uma vez que o Bioma exibe grande diversificação em suas formações vegetais. Buscamos no presente estudo revisar as pesquisas sobre estoques de carbono para o bioma Cerrado, bem como refinar as informações em nível fitofisionômico para a estrutura florística, a diversidade, a estrutura horizontal e vertical e o estoque de carbono na vegetação lenhosa do Estado de Minas Gerais. Para tanto: [1] descrevemos florístico e fisionomicamente áreas de Cerrado Denso e Cerrado Rupestre, situadas no Parque Nacional da Serra do Cipó e procuramos identificar o papel dos fatores ambientais e da proximidade espacial nesse cenário; [2] revisamos os estudos sobre o estoque de carbono em distintas fitofisionomias do Bioma Cerrado, abordando as metodologias utilizadas, e inferimos sobre sua aplicabilidade para a mitigação do efeito estufa e a conservação do Bioma; e [3] estimamos o estoque de carbono nas duas fitofisionomias amostradas e discutimos a eficácia das diferentes equações matemáticas disponíveis na literatura para esse tipo de investigação. Encontramos que as duas fitofisionomias diferem entre si quanto a estrutura florística, a diversidade e a estrutura fitossociológica, mas que têm papéis semelhantes no balanço do carbono global. Por isso, merecem igual atenção tanto para a conservação da biodiversidade, quanto para o balanço do gás carbônico na atmosfera. Verificamos uma carência de dados sobre a estocagem de carbono no Bioma além da urgente necessidade de aprimoramento metodológico e da investigação das diferentes fitofisionomias e dos diferentes estratos e formas de crescimento do Bioma.

Palavras-chave: Cerrado Denso; Cerrado Rupestre; Estrutura comunitária; Estoque de carbono

Abstract

There is an imminent need of restoration and preservation of biodiversity and the potential for sequestration of atmospheric carbon dioxide by vegetation of the Cerrado biome. Details on the phytophysognomic data, however, has great importance for the application of scientific knowledge, since the Biome displays great diversity in their vegetation types. We seek in this study to review the researches on carbon stocks for the

Cerrado Biome, as well as refine the information in phytophysiognomic level to the floristic structure, diversity, horizontal and vertical structure and carbon storage in woody vegetation of the State of Minas Gerais. For that: [1] we described, floristic and physiognomically, Dense Cerrado and Cerrado on Rocky Solis áreas located at Parque Nacional da Serra do Cipó, and sought to the role of environmental factors and spatial proximity in this scenario; [2] we reviewed the studies on carbon storage in different physiognomies of the Cerrado Biome, addressing the methodologies used, and we infer about its applicability to global warming mitigation and conservation of the biome; and [3] we estimate the carbon stock in the two sampled vegetation types and discuss the effectiveness of different mathematical equations available in the literature for this kind of investigation. We found that the two forest types differ in the floristic structure, diversity and phytosociological structure, but have similar roles in the global carbon balance. Therefore, both of them deserve equal attention for biodiversity conservation, and for the balance of carbon dioxide in the atmosphere. There is a lack of data on carbon storage in biome beyond an urgent need for methodological improvement and research of different vegetation types and strata and different growth forms Biome.

Keywords: Dense Cerrado; Cerrado on Rocky Soils; Community structure; Carbon stock

Introdução Geral

O Cerrado se estende por mais de 200 milhões de hectares, coincidindo quase que totalmente com a do Planalto Central do Brasil, entre as três principais bacias da América do Sul: a do Rio Amazonas, a do Rio São Francisco e a do Rio Prata (Oliveira-Filho e Ratter 2002). O Bioma é suportado por diversas formações geológicas e apresenta grandes variações ambientais - de classes de solo, altitude, latitude e longitude, distribuição de chuvas, suscetibilidade a incêndios e variações de temperaturas durante todo o ano (Eiten 1972). Reconhecido como a mais diversa dentre as savanas mundiais (Ratter 1992, Ratter et al. 2003), o Bioma Cerrado conta com alto índice de endemismos (Lenthall et al. 1999, Myers et al. 2000) e alta diversidade β (Ratter et al. 2003), além de elevada diversidade α de plantas lenhosas (Oliveira-Filho e Ratter 2002).

Por muito tempo, o Cerrado foi considerado como de baixa prioridade para conservação e, ainda que pouco efetiva até o início do século passado, a sua antropização sempre ocorreu de maneira desordenada (Costa et al. 2004). O uso indiscriminado da biomassa vegetal para fins energéticos (Vale et al. 2002) e a prática da retirada e queima da vegetação para venda de carvão e limpeza de áreas a serem cultivadas (Vale e Felfili 2005) são exemplos de atividades bastante impactantes, historicamente ligadas à conquista do Bioma Cerrado pelo sistema produtivo humano. Segundo Sano et al. (2010), a substituição mais expressiva da sua cobertura vegetal nativa, contudo, teve início na década de 20 do século passado, com o plantio de café no Estado de São Paulo, e deu um salto na década de 70, quando a agropecuária se expandiu em direção ao sudeste do Estado de Goiás e, a partir de então, com o apoio governamental, transformou a região na maior fronteira agrícola do país. Hoje, os extensos plantios de soja, milho, feijão, algodão, café e cana-de-açúcar (Sano et al

2008), contribuem para a redução da vegetação nativa a cerca de 60% da área primitiva, quase totalmente confinada à porção norte do Bioma (Sano et al. 2010). Em consequência, a vegetação remanescente do Cerrado encontra-se em condições de forte degradação e fragmentação (Battle-Bayer et al. 2010) e o Bioma está seriamente ameaçado (Ratter et al. 2003), figurando dentre os 35 *hotspots* mundiais (Begossi et al. 2000, Myers et al. 2000, Zachos e Habel 2011).

O Cerrado exhibe diferentes tipos de vegetação ao longo da sua área (Eiten 1972, Coutinho 1978, Pivello e Coutinho 1996, Ribeiro e Walter 2008). Em menor proporção, onde os solos são úmidos e/ou ricos, são encontradas formações compartilhadas com outros biomas, como as florestas estacionais, muitas delas ripárias (aluviais, ciliares e de galeria), ou ainda tipos de vegetação adaptados a ambientes úmidos, como as Veredas (Oliveira-Filho e Ratter 2002; Ribeiro e Walter 2008). Em maior proporção, todavia, nos solos bem drenados e distróficos, são encontradas as formações típicas do Bioma, que podem ser campestres, savânicas ou florestais (Ribeiro e Walter 2008). Estas formações vegetais, exclusivas do Bioma, são chamadas, em seu conjunto, de Cerrado *sensu lato* (*sensu* Ribeiro e Walter 2008) e compreendem as formações campestres e as formações do Cerrado *sensu stricto*, daqui em diante tratado como Cerrado *s.s.*, seguindo a caracterização proposta por Ribeiro e Walter (2008).

Ao Cerrado *s.s.* correspondem o Cerrado Denso, o Cerrado Típico, o Cerrado Ralo e o Cerrado Rupestre. O Cerrado *s.s.* abriga cerca de 40% das espécies de plantas vasculares do Bioma Cerrado (Mendonça et al.(1998) e é caracterizado pela presença, em densidades variadas, de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente com evidência de queimadas (Ribeiro e Walter, 2008). Por entre essas árvores se observam arbustos e subarbustos, muitas vezes com o desenvolvimento de xilopódios (órgãos subterrâneos de reserva adaptados à rebrota),

além de herbáceas, que se tornam vigorosas nos períodos de chuva (Ribeiro e Walter, 2008). Várias outras adaptações, como esclerofilia e troncos cobertos por grossas cortiças, também podem ser notadas (Ribeiro e Walter, 2008). Muitos fatores podem influenciar a densidade arbórea do Cerrado s.s., como a profundidade e as condições químicas, físicas e hídricas do solo, bem como a intensidade e frequência de queimadas (Oliveira-Filho e Ratter 2002).

De acordo com Ribeiro e Walter (2008), variações no agrupamento dos indivíduos lenhosos permitem subdividir o Cerrado s.s. em três fitofisionomias savânicas - Cerrado Denso, Cerrado Típico e Cerrado Ralo, obedecendo esta ordem a um gradiente decrescente de densidade de plantas lenhosas – e a ocorrência de neossolos com afloramentos de rochas permite o surgimento da quarta subdivisão fisionômica - o Cerrado Rupestre - que também se diferencia das três anteriores por apresentar espécies características de seu ambiente. É possível que as diferentes fitofisionomias sejam estágios diferentes de sucessão de uma mesma formação vegetal (Coutinho 1978), mas o que de fato parece acontecer no Cerrado s.s., é que seu estabelecimento e variações fisionômicas sejam produto da combinação de fatores tanto edáficos e climáticos, quanto antrópicos (Ratter 1992, Oliveira-Filho e Ratter 2002, Ribeiro e Walter 2008, Durigan 2003).

Contudo, em todas essas fitofisionomias, a ocupação antrópica ocorre de maneira altamente impactante. Fitofisionomias que ocupam locais de baixa declividade, com solos mais profundos e eventualmente mais férteis, vêm sendo rápida e sistematicamente substituídas pela agropecuária (Ribeiro e Tabarelli 2001, Prado et al. 2012). Por outro lado, as fitofisionomias estabelecidas em locais rochosos e de maior declividade vêm sofrendo os impactos da mineração (Moura et al. 2010), e da expansão imobiliária, principalmente em áreas vizinhas aos centros urbanos (Rapini et al.

2008),mas também em locais próximos a unidades de conservação (Shiley Domiciano e Oliveira 2012, Filippo 2013).

Embora floristicamente o Cerrado já esteja relativamente bem conhecido (Oliveira-Filho e Ratter 2002, Ratter et al. 2003), de acordo com Vale e Felfili (2005), ainda não há aplicação deste conhecimento em políticas públicas e privadas de conservação, como o plantio de espécies nativas ou o manejo sustentável da paisagem. Uma vez que o sucesso no estabelecimento das distintas fisionomias vegetais do Cerrado *s.s.* está intimamente relacionado à capacidade suporte do meio (Durigan, 2003), dados precisos são fundamentais para a realização de intervenções com fins de conservação ou de uso sustentável em qualquer área de ocorrência da formação. Assim, é importante que estudos discriminem claramente a fitofisionomia investigada.

A não discriminação dos subtipos fitofisionômicos abordados (Pinto et al. 2009)ou a utilização de nomenclatura não coincidente com a de maior consenso na linguagem científica são, portanto, dois complicadores para a aplicabilidade desses estudos, que ainda ocorrem em alguns trabalhos, a exemplo dos de Batalha et al.(2001), Felfili e Felfili (2001), Ribeiro e Tabarelli (2001), Meira Neto e Saporetti Júnior (2002), Fidelis e Godoy (2003), Fonseca e Silva Júnior (2004), Marimon Junior e Haridasan (2005), Carvalho et al. (2008), Moreno et al. (2008), Toledo et al. (2009), Costa et al. (2010), Giácomo et al. (2013). Recentemente, parece haver um caminho rumo ao consenso da aplicação da nomenclatura proposta por Ribeiro e Walter (2008) para a diferenciação dos principais tipos fisionômicos do Cerrado (Pinheiro e Durigan 2012), o que deverá facilitar emprego para fins de conservação.

Poucos trabalhos apresentam o Cerrado Denso como área de estudo de forma bem discriminada, podendo ser citados o de Andrade et al. (2002), no Distrito Federal; o

de Moreno et al. (2008), no Triângulo Mineiro, e o de Latansio-Aidar et al. (2010), em São Paulo. O Cerrado Rupestre, que abriga muitas espécies vegetais amplamente distribuídas no Cerrado *s.s.* (Ribeiro e Walter 2008, Santos et al. 2012a, Santos et al. 2012b) e ocupa ambiente impróprio para a agropecuária, vem sendo entendido como provável refúgio para a fauna e a flora do Cerrado *s.s.* (Pinto et al. 2009, Moura et al. 2010), o que tem feito do mesmo alvo de crescente quantidade de estudos de fitossociológicos. Exemplos de trabalhos onde o Cerrado Rupestre está claramente definido como objeto de estudo, incluem os trabalhos de Amaral et al. (2006), Felfili e Fagg (2007), Pinto et al. (2009), Lima et al. (2010), Moura et al. (2010), Gomes et al. (2011), Maracahipes et al. (2011), Abreu et al. (2012), Santos et al. (2012a), Santos et al. (2012b) e Lemos et al. (2013). Contudo, todas essas investigações foram realizadas ou no Distrito Federal, ou nos estados de Goiás, Mato Grosso ou Tocantins, havendo, portanto, um hiato no que se refere a outros estados da região nuclear do Cerrado, como a Bahia e Minas Gerais (Lemos et al. 2013), bem como às regiões disjuntas do Bioma.

Além da perda de biodiversidade, a modificação da vegetação do Cerrado tem causado, localmente, erosão ou perturbação dos solos e poluição das águas além de, globalmente, prováveis mudanças na ciclagem do carbono atmosférico (Aduan et al. 2003, Klink e Machado 2005, Grace et al. 2006, Rosolen et al. 2012). Contudo, as estimativas de contribuição do Bioma na ciclagem deste gás ainda são escassas (Ribeiro et al. 2011) e apenas recentemente começaram a ser feitas (Battle-Bayer et al. 2010, Assis et al. 2011, Miranda 2012). A maioria desses estudos, da mesma forma que muitos de fitossociologia, não discriminou o tipo de vegetação investigado, como os de Rezende et al. (2006), Paiva e Faria (2007), Paiva et al. (2011) e Ribeiro et al. (2011). Algumas investigações discriminaram a(s) fitofisionomia(s) enfocada(s), a exemplo das desenvolvidas por Lopes e Miola (2010), Rosolen et al. (2012), Wantzen et al. (2012) e

Santana et al. (2013). Contudo, dentre esses trabalhos, apenas o primeiro utilizou o sistema proposto por Ribeiro e Walter (2008), indicando as fitofisionomias ou formações trabalhadas (Cerradão, Cerrado Denso, Cerrado Típico e Mata de Galeria); o segundo utilizou nomenclatura divergente deste sistema, uma vez que citou Cerrado Denso como sinônimo de Cerradão; e os dois últimos citaram o Cerrado *s.s.*, sem discriminar o subtipo investigado, além de investigarem também Vereda e Cerradão. Há ainda um único estudo que nem mesmo distinguiu a formação investigada, considerando a área de estudo como um “Cerrado nativo” (Bayer et al. 2006). Também sob o enfoque da ciclagem de carbono, a abordagem clara das suas diferentes fitofisionomias, aliada ao desenvolvimento de estimativas precisas de produtividade, se constitui em elemento essencial para apoiar ações de manejo e conservação (Rezende et al. 2006).

O Parque Nacional da Serra do Cipó (PARNACIPÓ), situado na porção central do Estado de Minas Gerais (ICMBio 2009), está localizado em ambiente montanhoso onde existe um mosaico de fitofisionomias do Cerrado (ICMBio 2009). Isoladamente, essas comunidades ainda são pouco investigadas do ponto de vista fitossociológico e de seu papel na dinâmica global do carbono, não só na Unidade de Conservação (UC), mas no Estado como um todo. Tendo em vista esta carência de informações, a UC se constitui em uma excelente área para o desenvolvimento de novos estudos.

Assim, neste trabalho nós nos propusemos a descrever e comparar as características florístico-estruturais e de estoque de carbono de duas fitofisionomias savânicas no PARNACIPÓ fornecendo, assim, novos subsídios para a prática da Educação Ambiental na Unidade de Conservação (UC) e para a conservação do Bioma Cerrado como um todo. Devido à sua relevância para a conservação do Bioma, fitofisionomias de Cerrado Denso (CD) e de Cerrado Rupestre (CR), situados em áreas

adjacentes, foram selecionadas para amostragem da vegetação lenhosa. Para a elaboração desta dissertação, dividimos o conteúdo abordado em três capítulos, sendo o primeiro deles dedicado à caracterização florística e estrutural do CD e CR adjacentes no PARNA CIPÓ; no segundo apresentamos revisão sobre a estocagem carbono no Bioma Cerrado e suas diferentes fitofisionomias; e no terceiro realizamos a estimativa do potencial de estoque de carbono nas duas fitofisionomias investigadas.

Assim, os objetivos gerais da presente investigação são:

[1] Primeiro capítulo: descrever a estrutura florística*, a diversidade e a estrutura horizontal e vertical do CD e CR no PARNACIPÓ, bem como procurar identificar os papéis das variações ambientais e da proximidade espacial na estruturação das assembleias e a coexistência das espécies de plantas lenhosas nas duas fitofisionomias;

[2] Segundo capítulo: revisar os estudos sobre o estoque de carbono nas fitofisionomias do Bioma Cerrado, abordando as diferentes metodologias utilizadas, a quantidade potencial estocada em cada fitofisionomia e inferir sobre sua aplicabilidade para as questões de mitigação do efeito estufa e de conservação do Bioma; e

[3] Terceiro capítulo: estimar o estoque de carbono no CD e CR no PARNA CIPÓ e discutir a eficácia das diferentes equações matemáticas disponíveis na literatura para esse tipo de investigação.

* O termo “estrutura florística” é entendido aqui, e ao longo de toda a Dissertação, como a descrição da comunidade vegetal, levando-se em consideração a abundância de cada espécie no local. Nesse sentido, seu conceito vai além do conceito de “composição florística”, uma vez que não considera apenas as espécies encontradas, mas também a representatividade numérica de cada uma delas na comunidade amostrada.

Capítulo I

PADRÕES DETERMINANTES DA ESTRUTURA COMUNITÁRIA EM CERRADO DENSO E CERRADO RUPESTRE NA SERRA DO CIPÓ, MINAS GERAIS, E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO BIOMA CERRADO

INTRODUÇÃO

O Cerrado apresenta 70% da sua cobertura vegetal composta por savanas (Eiten 1972) que, em seu conjunto, são chamadas de Cerrado *sensu stricto* (Cerrado *s.s.*) (Ribeiro e Walter 2008) e detêm cerca de 40% das espécies de plantas vasculares do Bioma (Mendonça et al. 1998). O Cerrado *s.s.* é composto por diferentes fitofisionomias que, segundo Ribeiro e Walter (2008), são classificadas como Cerrado Denso, Cerrado Típico e Cerrado Ralo, de acordo com a densidade de indivíduos lenhosos, além do Cerrado Rupestre, que se diferencia das demais pelo substrato de solos rasos, com afloramentos rochosos, e pelas espécies endêmicas que exhibe. O estabelecimento dessas diferentes fitofisionomias parece ser produto da combinação de fatores edáficos, climáticos e antrópicos (Ratter 1992, Oliveira-Filho e Ratter 2002, Ribeiro e Walter 2008), embora diferenças na densidade de plantas lenhosas possam também ser reflexo de estágios diferentes de sucessão ecológica (Durigan 2003) e a pressão exercida pelos ambientes rochosos pareça ser o fator determinante para o estabelecimento e desenvolvimento das espécies do Cerrado Rupestre (Felfili e Fagg 2007).

Contudo, independentemente dos fatores que determinam seu estabelecimento, as áreas ocupadas pelas diferentes fitofisionomias do Cerrado vêm sofrendo distintas pressões antrópicas, de acordo com suas características edáficas, topográficas e

geográficas (Prado et al. 2012). Locais de baixa declividade, com solos mais profundos e bem drenados, coincidentes muitas vezes com o Cerrado Denso e o Cerrado Típico (Ribeiro e Walter 2008), vem sendo historicamente destinados à agropecuária (Ribeiro e Tabarelli 2001, Prado et al. 2012), atividade responsável pela maior parte da degradação do Bioma (Sano et al. 2010). Por outro lado, áreas rochosas com manchas de neosolo vêm se tornando, portanto, importante refúgio para a fauna e a flora nativas e, por isso, tem sido considerados como possíveis reservatórios de biodiversidade no Cerrado (Pinto et al. 2009, Moura et al. 2010, Mews et al. 2014). Contudo, esses ambientes também vêm sofrendo ameaças à sua integridade pela mineração (Moura et al. 2010) ou pela expansão imobiliária, principalmente em áreas próximas a centros urbanos (Rapini et al. 2008) ou vizinhas a Unidades de Conservação (Domiciano e Oliveira 2012, Filippo 2013).

Para avaliar os impactos decorrentes de atividades antrópicas e a adoção de medidas de conservação ou manejo, são necessários estudos sobre a organização e distribuição da biodiversidade nas comunidades (Felfili e Felfili 2001). Contudo, boa parte dos estudos florísticos, fitossociológicos e de diversidade desenvolvidos no Cerrado *s.s.* trazem dados pouco precisos sobre o(s) subtipo(s) abordado(s), o que dificulta a sua identificação (Pinto et al. 2009). Poucos estudos discriminam o Cerrado Denso (CD) como área de estudo, a exemplo de Andrade et al. (2002), Moreno et al. (2008) e Latansio-Aidar et al. (2010). O Cerrado Rupestre (CR), que tem sido evidenciado recentemente em maior número de estudos, como os de Amaral et al. (2006), Felfili e Fagg (2007), Pinto et al. (2009), Lima et al. (2010), Moura et al. (2010), Gomes et al. (2011), Maracahipes et al. (2011), Abreu et al. (2012), Santos et al. (2012a), Santos et al. (2012b), Lemos et al. (2013) e Mews et al. (2014), quase não foi investigado em locais fora do Distrito Federal ou dos Estados de Goiás, Mato Grosso e

Tocantins, havendo, portanto, um hiato em relação a outras regiões de ampla ocorrência do CR, como nos Estados da Bahia e Minas Gerais (Lemos et al. 2013). Além do mais, ainda se fazem necessários estudos sobre outros aspectos acerca dos padrões de distribuição das espécies, como sua correlação com variáveis ambientais, considerando o emprego de técnicas que consigam detectar e tratar adequadamente a sua estrutura espacial (Mews 2014).

Buscamos, neste trabalho, contribuir para a conservação e/ou programas de manejo no Cerrado *s.s.*, através da reavaliação dos dados dos seus subtipos fisionômicos. É esperado que variáveis ambientais, como altitude, relevo e substrato (Felfili e Felfili 2001, Mews et al. 2014), e suas possíveis estruturações espaciais (Diniz-Filho et al. 2012), exerçam forte influência na variação florística e estrutural dos subtipos fisionômicos da formação. Assim, investigamos a vegetação lenhosa viva acima do solo de duas áreas adjacentes de Cerrado Denso (CD) e Cerrado Rupestre (CR) e avaliamos a sua correlação com variáveis ambientais locais e espaciais. Para tanto, obtivemos os seus descritores de estrutura florística, de diversidade e de estrutura horizontal e vertical, bem como os descritores de variáveis ambientais e espaciais das áreas, supostamente preditores das variações encontradas. Buscamos ainda comparar os descritores do CD e CR entre si e com os fornecidos por outros estudos realizados nas mesmas fitofisionomias, porém em outras regiões do bioma.

A área escolhida foi o Parque Nacional da Serra do Cipó (PARNACIPÓ), situado na porção sul da Serra do Espinhaço (ICMBio), a qual apresenta expressiva formação geomorfológica que perpassa os Estados da Bahia e de Minas Gerais, locais carentes de estudos florísticos e fitossociológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo – O PARNACIPÓ está situado em região cujo clima é caracterizado como tropical de altitude do tipo Cwb, com temperaturas mínimas anuais de 15 a 16° C e máximas de 27 a 30 ° C e precipitação anual entre 1300 e 1600 mm, concentrada nos meses de novembro a março (ICMBio 2009). A área de estudo se encontra na porção leste do parque (19°35'40" S – 19°36'55" S e 43°62'80" O – 43°62'52" O) (Figura 1 A e B) e exibe considerável variação de altitude entre as porções norte (812 – 823 m) e sul (954 – 999 m). A porção norte é ocupada por vegetação de Cerrado Denso (CD), as porções central e sul são ocupadas por Cerrado Rupestre (CR) (Figura 1, B e C). O CD (Figura 2A) está em relevo mais plano, com declividade de até 3,5, enquanto o CR (Figura 2B) está numa área íngreme, com inclinação de sete a 24,0%. O presente estudo foi conduzido entre os anos de 2012 e 2013 e a área apresenta histórico de fogo no ano de 2011 e 2012.

Alocação das parcelas – Utilizando o programa GOOGLE EARTH (2008), determinamos previamente dois transectos, cruzando as áreas de CD e CR (Figura 1C). Com o auxílio do programa GPS TrackMaker®, sorteamos o ponto inicial para a primeira parcela de cada transecto, consideramos a distância mínima de 10 m até as trilhas que delimitam a área (Eisenlohr et al. 2013) e posicionamos os pontos iniciais das nove parcelas seguintes em intervalos de aproximadamente 50 m, pois essa foi a distância que permitiu a alocação de 10 parcelas em cada transecto. Localizamos em campo os pontos pré-estabelecidos e, a partir deles, alocamos 20 parcelas de 10 m × 20 m, totalizando área amostral 0,4ha (0,2 ha por fitofisionomia).

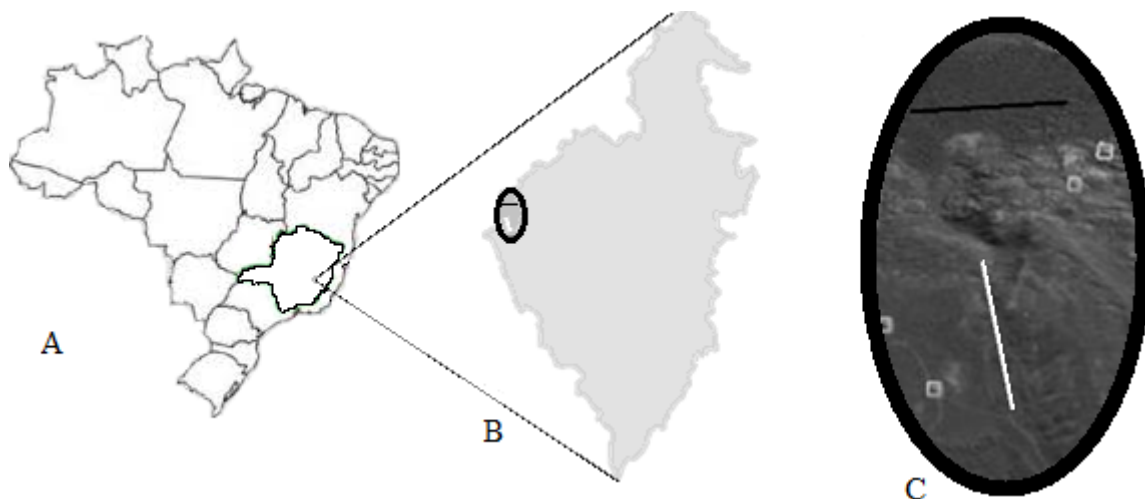


Figura 1. A – Localização do Parque Nacional da Serra do Cipó no Estado de Minas Gerais, Brasil. B – Posicionamento das transecções utilizadas para amostrar o CD (preto) e o CR (branco) na Unidade de Conservação. C – Representação das transecções nas áreas ocupadas pelas duas fitofisionomias (CD linha preta e o CR linha branca).



Figura 2. Estrutura da vegetação lenhosa nas duas fitofisionomias estudadas no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. A – Cerrado Denso; B – Cerrado Rupestre.

Inventários florístico e fitossociológico – Inventariamos todos os indivíduos lenhosos vivos com diâmetro a 30 cm do solo (DAS) $\geq 1,9$ cm, dos quais medimos o DAS com auxílio de fita métrica e também estimamos a altura total com auxílio de uma vara de 3m de altura. Coletamos o material botânico para posterior identificação, com auxílio de

bibliografia especializada, ajuda de especialistas e/ou comparação com material depositado no Herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Minas Gerais (BHCB), para o qual destinamos o material testemunho. Verificamos a nomenclatura das espécies pelo site da Lista de Espécies da Flora do Brasil (2013) e a classificação das famílias seguiu o *Angiosperms Phylogeny Group* III (APG III 2009).

Obtenção das variáveis ambientais – Em cada parcela, obtivemos as coordenadas geográficas e a altitude do ponto central, com auxílio de GPS Garmin. Medimos a maior declividade do terreno nas parcelas, com Clinômetro Eletrônico Haglöf. Registramos quatro fotografias, representativas da cobertura do solo, todas a um metro de altura, a qual dividimos em 100 células de igual tamanho no programa Photoshop® (Free Trial Version). A partir das fotografias calculamos a média da cobertura relativa (%) das classes de substrato previamente estabelecidas: terra fina, cascalho e calhaus, segundo EMBRAPA (1997), e fragmentos de rocha grandes e rocha contínua aflorada, conforme observação em campo. Uma vez que classes interdependentes *a priori* não devem ser usadas em conjunto como variáveis preditoras, escolhemos para análise, dentre as cinco, a variável ‘rocha contínua’ pois, nas observações de campo, esta pareceu ser mais consistentemente relacionada com as variações da vegetação.

Tratamento dos dados – Para investigar os padrões de variação florístico-estrutural nas duas fitofisionomias (CD e CR), utilizamos a técnica de ordenação através do método de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) da matriz de abundância relativa das espécies por parcela (proporção do número de indivíduos), e aplicando a distância de Bray-Curtis (McCune and Mefford 2011). Verificamos as significâncias (valor-*p*) dos eixos por meio de testes de permutação de Monte Carlo com 999 permutações, sendo encontrada a solução de três dimensões. Observamos o estresse, o qual foi controlado satisfatoriamente e cujo valor final foi de 9,43, estabilizado ao redor

da 45ª das 81 iterações realizadas. O NMDS foi realizado no PC-ORD 6.0 (McCune e Mefford 2011).

Para mensurar e visualizar a dissimilaridade florística entre as parcelas amostradas, novamente utilizamos a matriz de abundância já citada para a preparação de um dendrograma de classificação das parcelas com base na análise de agrupamento hierárquica UPGMA, com uso do coeficiente de Bray-Curtis. Verificamos a significância do coeficiente de correlação cofenético pelo Teste de Mantel com 999 permutações entre a matriz de similaridade florística das parcelas e a matriz de correlação cofenética. Efetuamos a análise de agrupamento no FITOPAC 2.1 (Shepherd 2011) e o Teste de Mantel no PASSaGE 2.0 (Rosenberg e Anderson 2011).

Para determinar as espécies indicadoras de cada fitofisionomia, utilizamos o método de Dufrêne e Legendre (1997), sendo consideradas indicadoras aquelas com $p \leq 0,05$ obtido pelo teste de Monte Carlo com 999 randomizações e com Valor Indicador maior que 0,5. Esta análise foi executada no PC-ORD 6.0 (McCune e Mefford 2011).

Para descrever a riqueza de espécies de cada fitofisionomia obtivemos os estimadores não-paramétricos Chao 1 e Jackknife 1 (Magurran 2004). Escolhemos estes estimadores devido ao maior ajuste em relação ao número de espécies observadas (Brose et al. 2003, Walther e Moore 2005). Processamos estas análises no software EstimateS versão 9.1 (Colwell 2009). De forma complementar, construímos o Perfil de Diversidade de Rényi, com auxílio do programa PAST 3.0 (Hammer 2001) que permite rápida e confiável comparação entre as diversidades das comunidades por meio da visualização dos pesos das espécies raras provido pelos valores de riqueza de espécies, índice de Shannon e índice recíproco de Simpson (Melo 2008). Calculamos os

parâmetros fitossociológicos para cada fitofisionomia conforme Mueller-Dombois e Ellenberg (2002), no programa FITOPAC 2.1 (Shepherd 2011).

Para testar se há diferenças entre as duas fitofisionomias quanto à estrutura florística, a diversidade e a estrutura fitossociológica e evitar a inflação do Erro Tipo I (Peres-Neto e Legendre 2010), executamos modelos lineares gerais (LMs) com controle da estrutura espacial, representada por filtros espaciais obtidos pelo método MEM (*Moran's Eigenvector Maps*) (Dray et al. 2006). Para representar a estrutura florística, utilizamos o primeiro eixo da análise de ordenação RDA (análise canônica de redundância), da mesma matriz de abundâncias descrita acima, seguida da transformação de Hellinger (Legendre e Gallagher 2001).

Para avaliar a variação na diversidade de espécies entre CD e CR, utilizamos como variáveis resposta a riqueza específica e os índices de Shannon (H') e de Simpson ($1/D$). Para avaliar a variação na estrutura da vegetação nas duas fitofisionomias, foram utilizados como variáveis resposta o número de indivíduos, o número de indivíduos ramificados, a área basal e as médias das alturas e diâmetros. Uma vez constatada a existência da correlação espacial significativa, criamos e selecionamos, progressivamente, os filtros espaciais. De posse dos filtros espaciais selecionados, efetuamos a partição da variância (Peres-Neto e Legendre 2010), que explicou as proporções dos descritores da vegetação (estrutura florística, diversidade e estrutura fitossociológica) devidas a: [a] unicamente ao tratamento, isto é, à diferença entre as fitofisionomias (CD ou CR); [b] à porção compartilhada entre o tratamento e as variáveis espaciais; [c] unicamente às variáveis espaciais; e [d] a componentes indeterminados (Legendre e Legendre 2012). Testamos a significância da fração [a] por ANOVA baseada em permutações (Peres-Neto et al. 2006). A significância da porção

[a] indica que o conjunto de variáveis-resposta difere estatisticamente entre as duas fitofisionomias comparadas.

Efetuamos novos LMs particionados para testar a significância das variáveis ambientais como preditoras dos parâmetros de estrutura florística, diversidade e estrutura fitossociológica da comunidade. Seguimos, em linhas gerais, os mesmos procedimentos descritos acima e incluímos uma seleção progressiva das variáveis ambientais, as quais foram usadas na partição de variância. Verificamos, então, qual(is) dentre a(s) variável(is) resposta, ou descritores, estaria(m) correlacionada(s) às variáveis ambientais preditoras. Executamos essas análises no Software R versão 2.15.1 (R Development Core Team, 2012), com os pacotes *vegan*, *packfor*, *spdep* e *spacemakeR*.

RESULTADOS

Registramos, nas duas áreas investigadas, 1.039 indivíduos lenhosos, dos quais 576 foram amostrados no CD e 463 no CR (Apêndice 1). No CD, encontramos 70 espécies distribuídas em 54 gêneros e 30 famílias. No CR, amostramos 41 espécies pertencentes a 33 gêneros e 23 famílias. Vinte e uma espécies foram compartilhadas entre as duas fitofisionomias, 49 espécies ocorreram exclusivamente no CD e 20 espécies tiveram distribuição restrita ao CR. Oito espécies foram classificadas como indicadoras para o CD e quatro para o CR (Apêndice 2).

Dezessete espécies somaram dois terços do IVI no CD – oito com IVIs até 10%, seis com IVIs entre 10 e 20% e três com IVIs maiores que 20%. Dentre elas, *Hymenaea stigonocarpa*, com 24,8% de IVI, apresentou elevados valores de frequência e dominância relativas, *Siparuna guianensis*, com 22,5% de IVI, se destacou pela maior

densidade relativa e *Antonia ovata* se sobressaiu pela segunda maior densidade relativa e pela alta dominância relativa (Apêndice 1). De modo geral, as espécies socialmente mais importantes no CD se destacaram pela frequência relativa e, em menor grau, pela densidade e dominância relativas, respectivamente.

No CR, a população de *Lychnophora rupestris*, devido à maior densidade relativa e alta dominância relativa, ultrapassou 115 de IVI. Dois terços do total do IVI na comunidade foram alcançados com a soma dos IVIs de outras sete espécies, das quais *Erythroxylum suberosum*, que alcançou a segunda maior densidade relativa, foi a única cujo IVI ultrapassou 20%, três outras espécies tiveram IVIs entre 10 e 20% e três apresentaram IVIs menores que 10% (ANEXO 1). No CR, em geral, as espécies socialmente mais importantes exibiram valores de frequência e dominância relativas mais altos que no CD (Apêndice 1).

As espécies mais numerosas, *Lychnophora rupestris* e *Siparuna guianensis*, exerceram forte influência nos padrões exibidos pelas duas comunidades (Apêndice 1). De modo geral, as famílias com maior número de indivíduos foram as mesmas com maior abundância de espécies (Figura 3), sendo as exceções: [1] Chrysobalanaceae e Lamiaceae, que foram pouco numerosas e [2] Siparunaceae, que foi representada por somente uma espécie. As famílias e os gêneros mais numerosos exibiram, via de regra, desigual distribuição quanto ao número de indivíduos entre as duas fitofisionomias, o que não ficou tão evidente quando observado o número de espécies (Figuras 3 e 4).

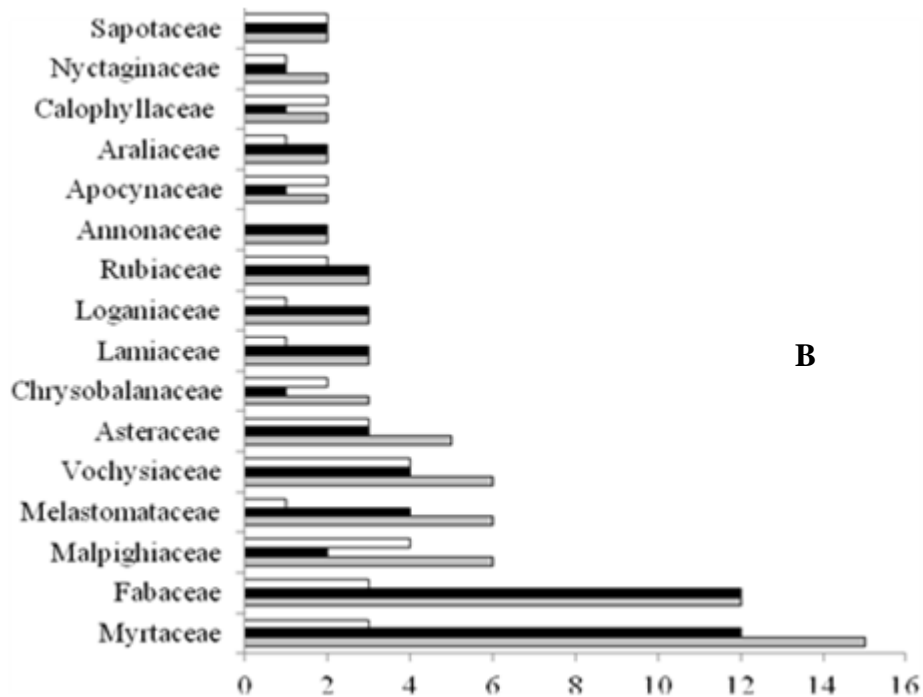
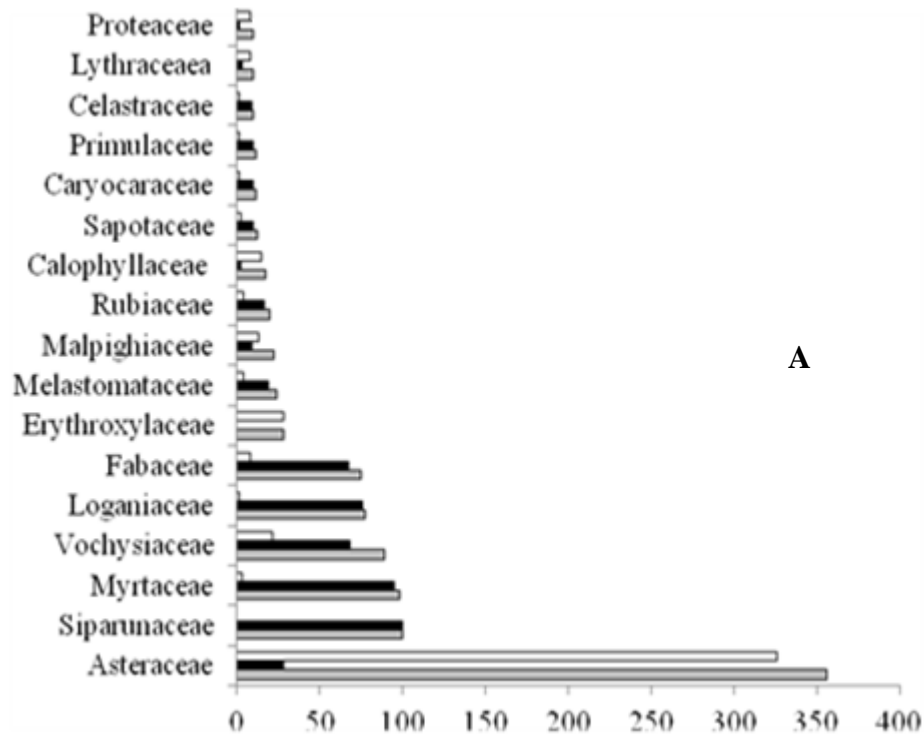


Figura 3. Famílias mais representativas quanto ao número de indivíduos (A) e número de espécies (B) amostrados na vegetação lenhosa das fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. Barras cinza = conjunto das duas fitofisionomias; barras pretas = Cerrado Denso; barras brancas = Cerrado Rupestre.

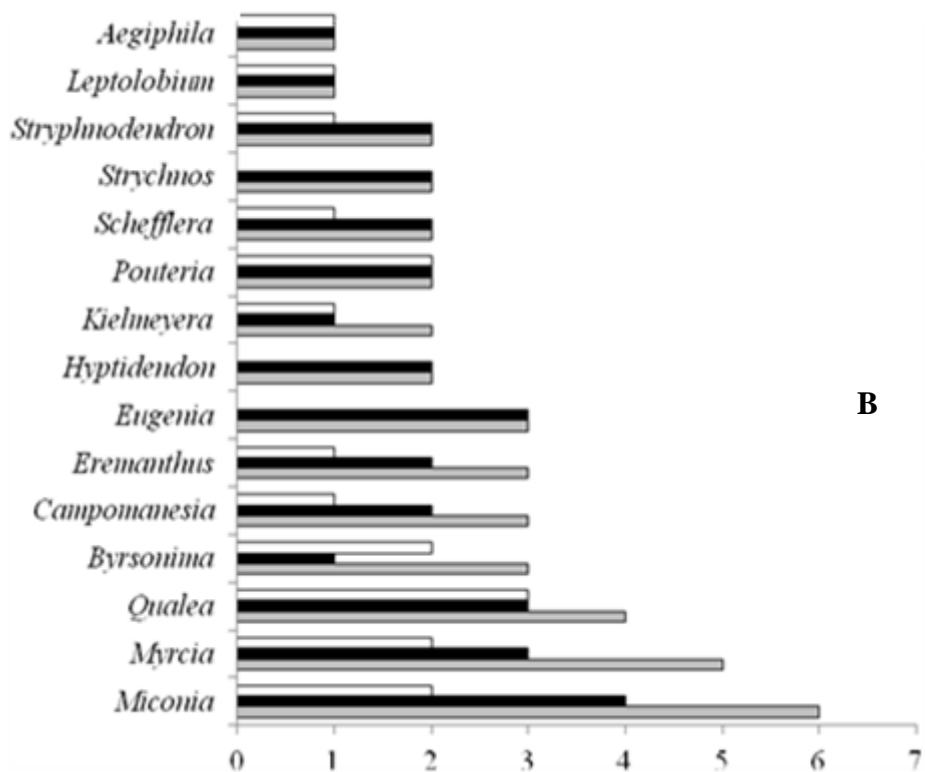
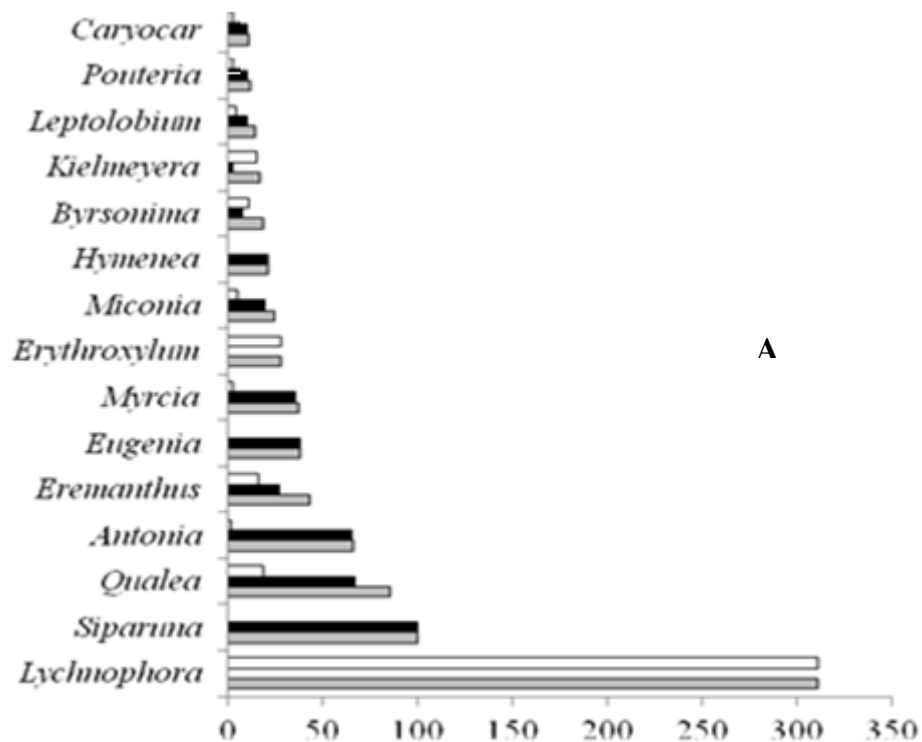


Figura 4. Gêneros mais representativos quanto ao número de indivíduos (A) e número de espécies (B) amostrados na vegetação lenhosa das fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. Barras cinza = conjunto das duas fitofisionomias; barras pretas = Cerrado Denso; barras brancas = Cerrado Rupestre.

Houve grande dissimilaridade na composição (coeficiente de Bray-Curtis com valores maiores que 0,5, normalmente maiores que 0,7 numa mesma fitofisionomia e atingindo 0,98 entre CD e CR) das 20 parcelas, sendo as duas únicas exceções verificadas por: [1] parcelas dois e três do CD e [2] parcelas seis, sete, oito e nove do CR (todas estas com coeficientes menores que 0,5, duas a duas). Esta grande dissimilaridade pode ser verificada pela separação clara das parcelas de CR em relação as do CD pelo eixo 1 na NMDS, com explicação de 35% da variância total (Figura 5), aliada às separações determinadas pelo Eixo 2 (Figura 5A), que também evidenciou menor diferença entre as parcelas supracitadas do CR, e Eixo 3 (Figura 5B), que explicaram, respectivamente, 21% e 10,9% do padrão verificado.

A análise de agrupamento (UPGMA) gerou dois grandes grupos: um formado pelas 10 parcelas do CD e outro pelas 10 parcelas do CR (Figura 6). O coeficiente de correlação cofenética foi elevado (0,96) e significativo (Teste de Mantel, $p < 0,01$), o que significa que o dendrograma conseguiu reproduzir bem a estrutura florística real. Os padrões observados no dendrograma foram semelhantes aos produzidos pelo eixo dois da NMDS (Figura 5A e Figura 6).

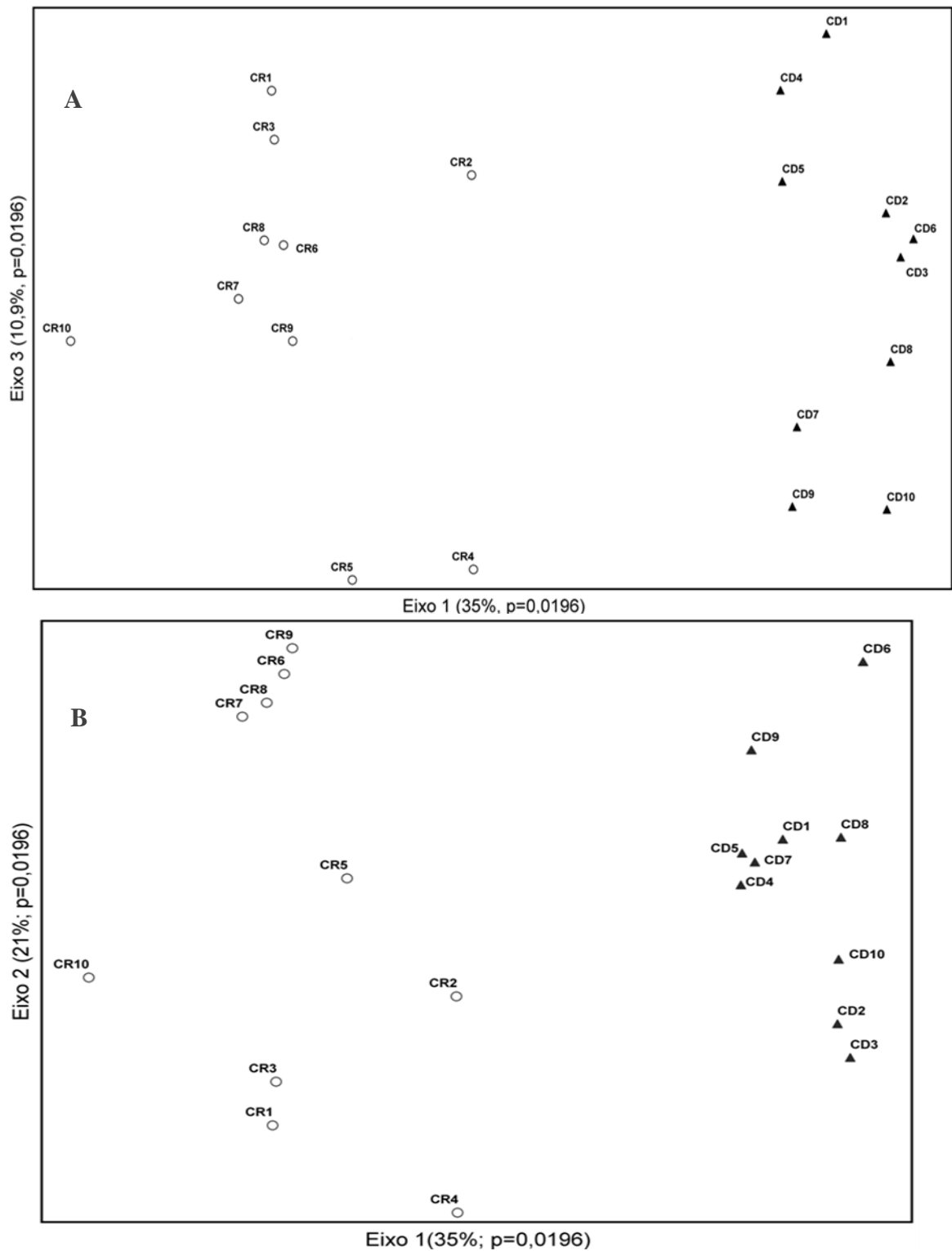


Figura 5. Ordenação por NMDS (escalonamento multidimensional não-métrico), das 20 parcelas alocadas nas fitofisionomias de Cerrado Denso (triângulos cheios) e de Cerrado Rupestre (círculos vazios) no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil, com base na matriz de abundâncias relativas das espécies por parcela. A. ordenação com base nos eixos 1 e 3. B. ordenação com base nos eixos 1 e 2.

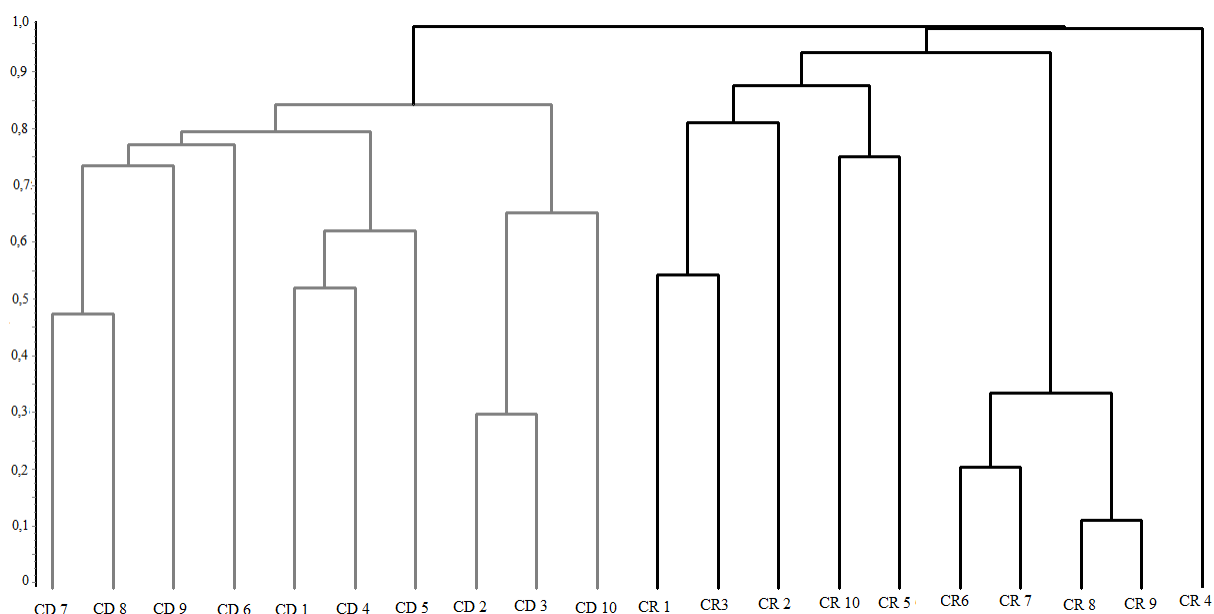


Figura 6. Dendrograma de classificação hierárquica das 20 parcelas alocadas nas fitofisionomias de Cerrado Denso (linhas cinza) e de Cerrado Rupestre (linhas pretas) no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil, obtido por UPGMA dos coeficientes de distância de Bray-curtis entre parcelas, com base na abundância relativa das espécies lenhosas por parcela.

A riqueza observada nas duas fitofisionomias foi mais próxima dos valores estimados por Chao1 (93,5% do valor estimado no CD e 74,7% no CR) do que dos valores estimados por Jackknife 1 (82% no CD e 71% no CR) (Tabela 1), sugerindo que as comunidades reais sejam mais ricas em espécies que as amostradas. Dentre as duas fitofisionomias, os maiores valores de riqueza e de equabilidade entre as espécies foram registrados no CD, o que pode ser verificado pelo Perfil de Diversidade de Reyni (Figura 7).

Tabela 1. Riqueza observada e estimada de espécies lenhosas nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre, no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. DP: desvio-padrão.

Fitofisionomia	Riqueza Observada	Chao 1 ± DP	Jackknife 1 ± DP
Cerrado Denso	70	83,58 ± 8,73	90,70 ± 5,37
Cerrado Rupestre	41	80,91 ± 26,02	63,50 ± 5,73

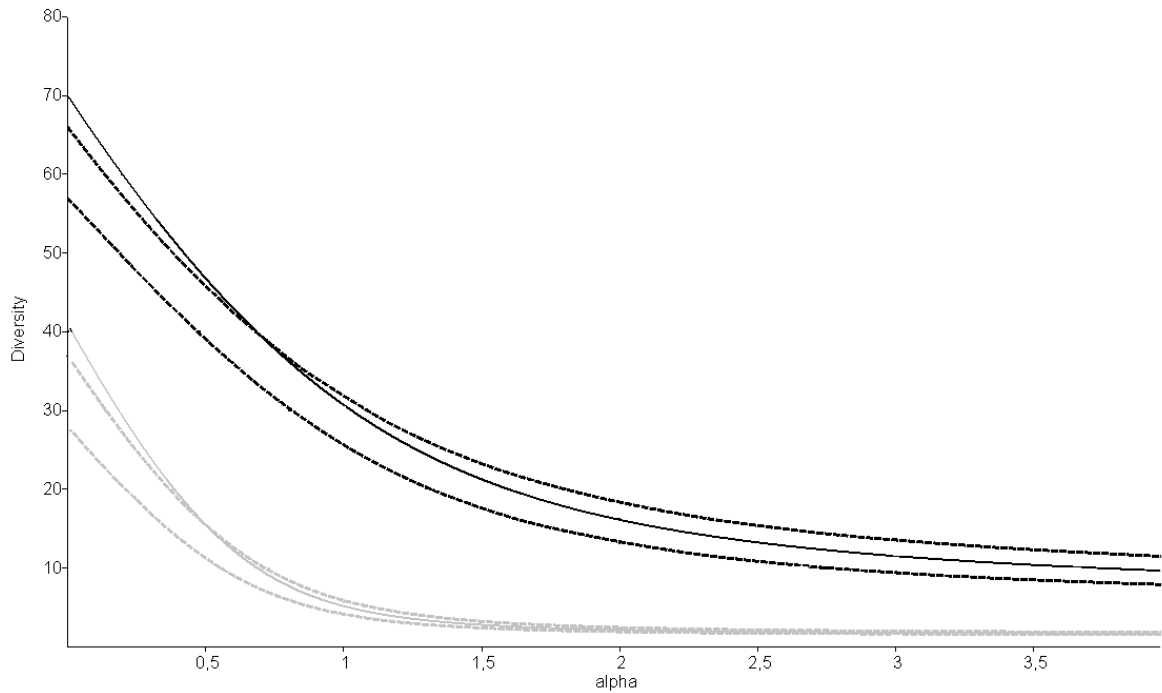


Figura 7. Perfis de diversidade de espécies lenhosas amostradas nas fitofisionomias de Cerrado Denso (preto) e de Cerrado Rupestre (cinza), no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil, com intervalo de confiança de 95% (pontilhado).

A área basal média por indivíduo alcançou $0,04 \text{ m}^2\text{ind}^{-1}$ no CD e $0,01 \text{ m}^2\text{ind}^{-1}$ no CR, e a altura média por indivíduo $4,15 \text{ m}$ no CD e $2,15 \text{ m}$ no CR. O maior porte da comunidade lenhosa do CD caracterizou seu caráter mais arbóreo-arbustivo enquanto o menor porte e a maior ramificação dos indivíduos do CR caracterizaram o caráter mais arbustivo dessa comunidade (Figura 8). As distribuições de indivíduos por classe de altura e de diâmetro também corroboram o caráter fisionômico de cada fitofisionomia, uma vez que o CD, além de apresentar indivíduos cuja altura e diâmetro à altura da base ultrapassam, respectivamente nove metros e 30 cm, possui a maior parte dos indivíduos nas classes de altura de três a cinco metros e poucos indivíduos ramificados, enquanto o CR possui a maior parte dos indivíduos com altura abaixo de dois metros e diâmetro abaixo de seis centímetros, além de uma maior quantidade de indivíduos ramificados (Figuras 9, 10 e 11).

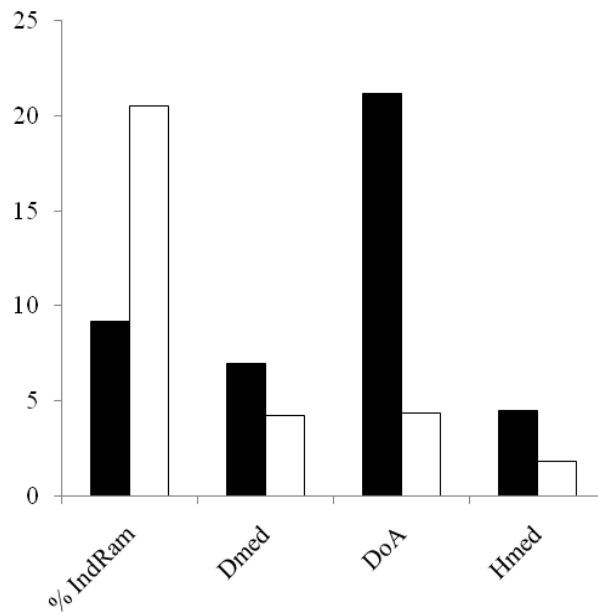


Figura 8. Médias dos descritores fisionômicos da vegetação lenhosa obtidas para as fitofisionomias de Cerrado Denso (barras pretas) e Cerrado Rupestre (barras brancas), no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. % IndRam = porcentagem de indivíduos ramificados; Dmed = diâmetro médio (cm) à altura da base; DoA = dominância absoluta ($m^2 \cdot ha^{-1}$); Hmed = altura média (m).

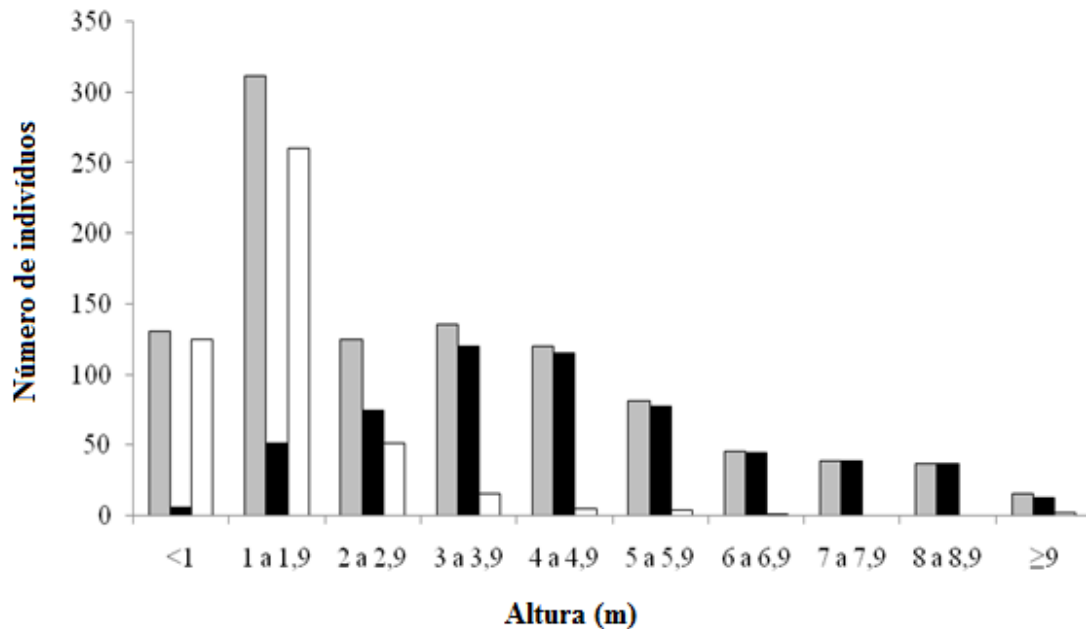


Figura 9. Distribuição em classes de altura total (m) dos indivíduos lenhosos amostrados nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre, no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. Barras cinza = conjunto das duas áreas; barras pretas = Cerrado Denso; barras brancas = Cerrado Rupestre.

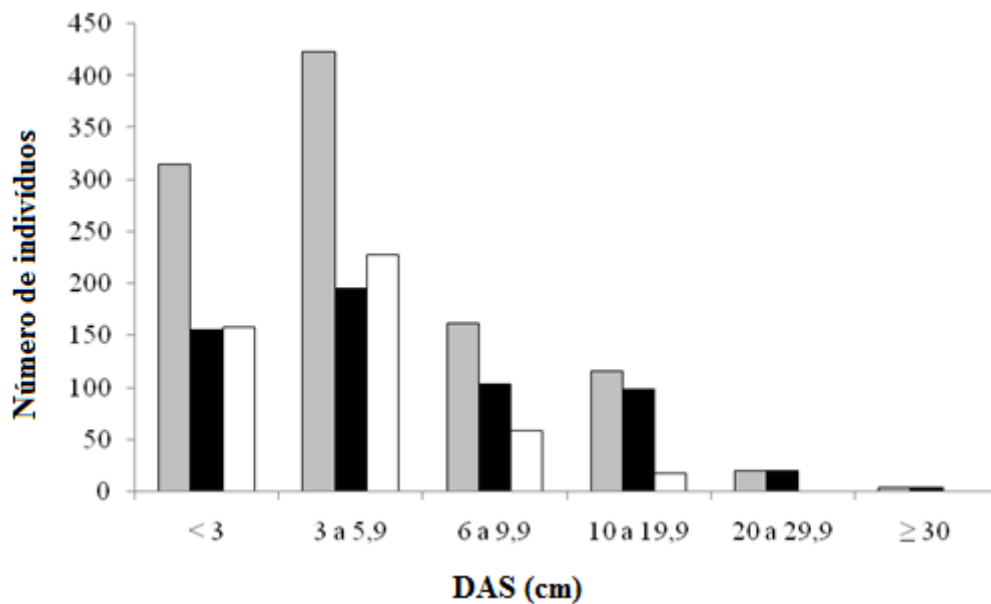


Figura 10. Distribuição em classes de diâmetro a 30 cm do solo (DAS) dos indivíduos lenhosos amostrados nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre, no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. Barras cinza = conjunto das duas áreas; barras pretas = Cerrado Denso; barras brancas = Cerrado Rupestre.

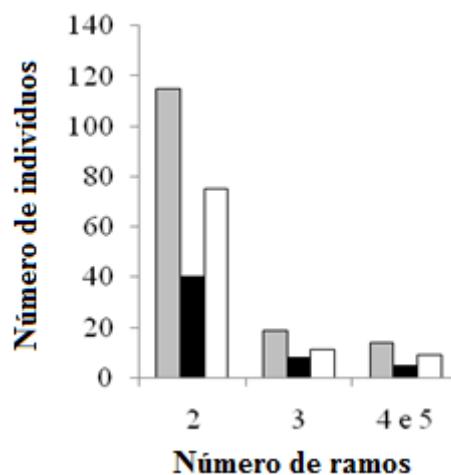


Figura 11. Distribuição pelo número de ramos dos indivíduos lenhosos que apresentaram ramificação a 30 cm do solo, amostrados nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre, no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. Barras cinza = conjunto das duas áreas; barras pretas = Cerrado Denso; barras brancas = Cerrado Rupestre.

O CD apresentou indivíduos emergentes ($H > 10,0$ m) das espécies *Tapirira guianensis*, *Plenckia populnea* e *Dalbergia miscolobium*, sendo que a última delas também apresentou os maiores diâmetros à 30 cm do solo, embora o estrato superior ($H > 6,0$ m) tenha sido dominado por *Antonia ovata*, *Hymenaea stigonocarpa*, *Pouteria torta* e *Caryocar brasiliense*. O estrato intermediário (H entre 2,0 e 6,0 m) exibiu grande número de indivíduos de *Siparuna guianensis*, *Antonia ovata*, *Qualea grandiflora* e *Myrcia mutabilis*. Já o estrato inferior foi marcado pelas presenças de *Qualea grandiflora* e *Eugenia hyemalis*. No CR foram registrados poucos indivíduos emergentes, representados por *Kielmeyera petiolaris*, *Tocoyena formosa* e *Qualea parviflora*, e que não ultrapassaram 6,2 m de altura. O estrato intermediário (H entre 3,0 e 5,0 m) foi muito marcado por *Erythroxylum suberosum* e o estrato inferior ($H < 3,0$ m) foi fortemente dominado por *Lychnophora rupestris*.

As diferenças na estrutura florística e nos conjuntos de variáveis de diversidade e estrutura fitossociológica entre as fitofisionomias foram parcialmente estruturadas pelo espaço (Figura 12). Esses parâmetros foram significativamente maiores no CD, diferindo-se em conjunto e em alguns de seus componentes (Tabela 2). Altitude e espaço se correlacionaram positivamente às variações na estrutura florística, na diversidade e na estrutura fitossociológica entre o CD e o CR (Tabela 3).

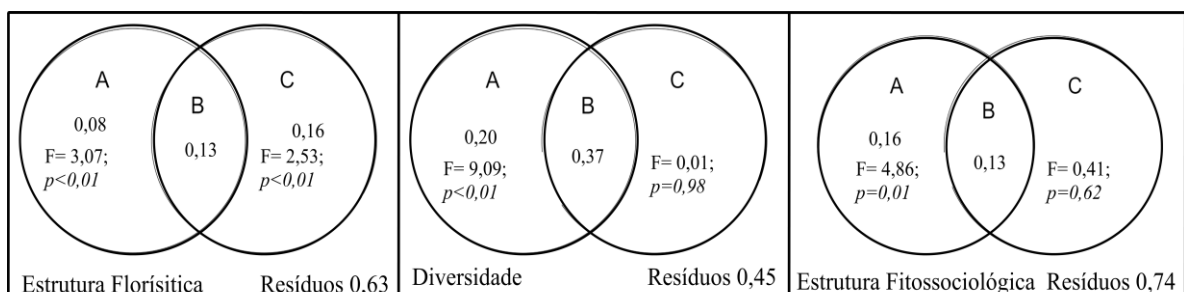


Figura 12. Diagramas de partição da variância para a estrutura florística, diversidade e estrutura fitossociológica da vegetação lenhosa nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre, no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. A =

fração explicada exclusivamente pelo tratamento (CD × CR); B = fração explicada pelo tratamento espacialmente estruturado; C = fração explicada exclusivamente pelo espaço. Valores de variância menores que zero e de $p > 0,05$ não são representados.

Tabela 2. Resultado dos modelos lineares gerais para os parâmetros de estrutura florística, diversidade e estrutura fitossociológica da vegetação lenhosa nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. g.l.: graus de liberdade. Em negrito, resultados significativos ($p \leq 0,05$).

Descritores	Cerrado Denso	Cerrado Rupestre	g.l.	F	<i>p</i>
Estrutura Florística					
Eixo 1 da RDA	-	-	1	29,712	0,005
Diversidade					
Riqueza	18,5 ± 6,5	9,0 ± 2,8	1	9,389	0,007
Índice de Shannon	2,5 ± 0,4	1,3 ± 0,7	1	7,697	0,013
Índice de Simpson	8,2 ± 2,5	3,6 ± 2,5	1	3,962	0,063
Variáveis de diversidade em conjunto	-	-	1	8,303	0,015
Estrutura da vegetação					
Número de indivíduos	57,5 ± 29,7	35,0 ± 39,4	1	1,225	0,284
Número de indivíduos ramificados	4,5 ± 2,8	4,5 ± 9,4	1	0,037	0,850
Área Basal	0,4 ± 0,2	0,1 ± 0,1	1	18,820	0,000
Diâmetro médio	8,6 ± 2,5	4,3 ± 1,3	1	7,396	0,015
Altura média	4,4 ± 0,6	1,8 ± 1,1	1	26,906	< 0,001
Variáveis estruturais em conjunto	-	-	1	5,862	0,013

Tabela 3. Variáveis preditoras da estrutura florística, diversidade e estrutura fitossociológica para a vegetação lenhosa nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre no Parque Nacional Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. R²: coeficiente de determinação.

Modelos	R²	R² Ajustado	F	p
Estrutura Florística				
Altitude	0,250	0,208	6,004	0,001
MEM 1	0,150	0,103	3,174	0,001
MEM 2	0,106	0,287	2,816	0,002
MEM 3	0,144	0,211	3,480	0,001
Diversidade				
Altitude	0,593	0,571	26,278	0,001
MEM 1	0,377	0,342	10,877	0,004
Estrutura da vegetação				
Altitude	0,323	0,286	8,598	0,002
MEM 1	0,151	0,104	3,201	0,044

Altitude e espaço foram fortemente correlacionados à separação entre CD e CR quanto às estruturas florísticas (Eixo 1; Figura 13 e Eixo 1, Tabela 4). A variação da altitude foi maior na área do CR, mas apresentou pouca correlação com a variação na composição florístico-estrutural das parcelas (Eixos 2 e 3; Figura 13 e Eixos 2 e 3; Tabela 4), ao contrário do espaço, que melhor se correlacionou à variação desse descritor (Eixo 3; Figura 13 e Eixo 3; Tabela 4).

Tabela 4. Correlações dos escores dos três primeiros eixos da RDA (Análise de Redundância) com a altitude e os filtros espaciais (MEM 1, MEM 2 e MEM 3).

	Altitude	MEM1	MEM2	MEM3
Axis1	-0,933	-0,740	0,232	-0,338
Axis2	0,331	0,403	0,657	-0,625
Axis3	0,136	-0,061	0,712	0,698

As correlações dos preditores ambiental e espaciais com os conjuntos de descritores de diversidade e estrutura da vegetação, respectivamente, também se mostraram parcialmente estruturadas pelo espaço (Figura 14). As correlações entre cada uma das variáveis-resposta que compõem esses conjuntos e os respectivos preditores são mostradas na Tabela 5. Os descritores estruturais que diferiram significativamente entre CR e CD (Tabela 2) foram os mesmos que apresentaram correlação significativa com a variação altitudinal entre os ambientes (Tabela 6). Dentre eles, apenas a altura média foi significativamente correlacionada com o filtro espacial MEM 1 (Tabela 6), indicando que, enquanto a altitude influenciou parte da variação na estrutura horizontal entre as fitofisionomias, a distância entre os sítios teve importância somente para a estrutura vertical de sua vegetação.

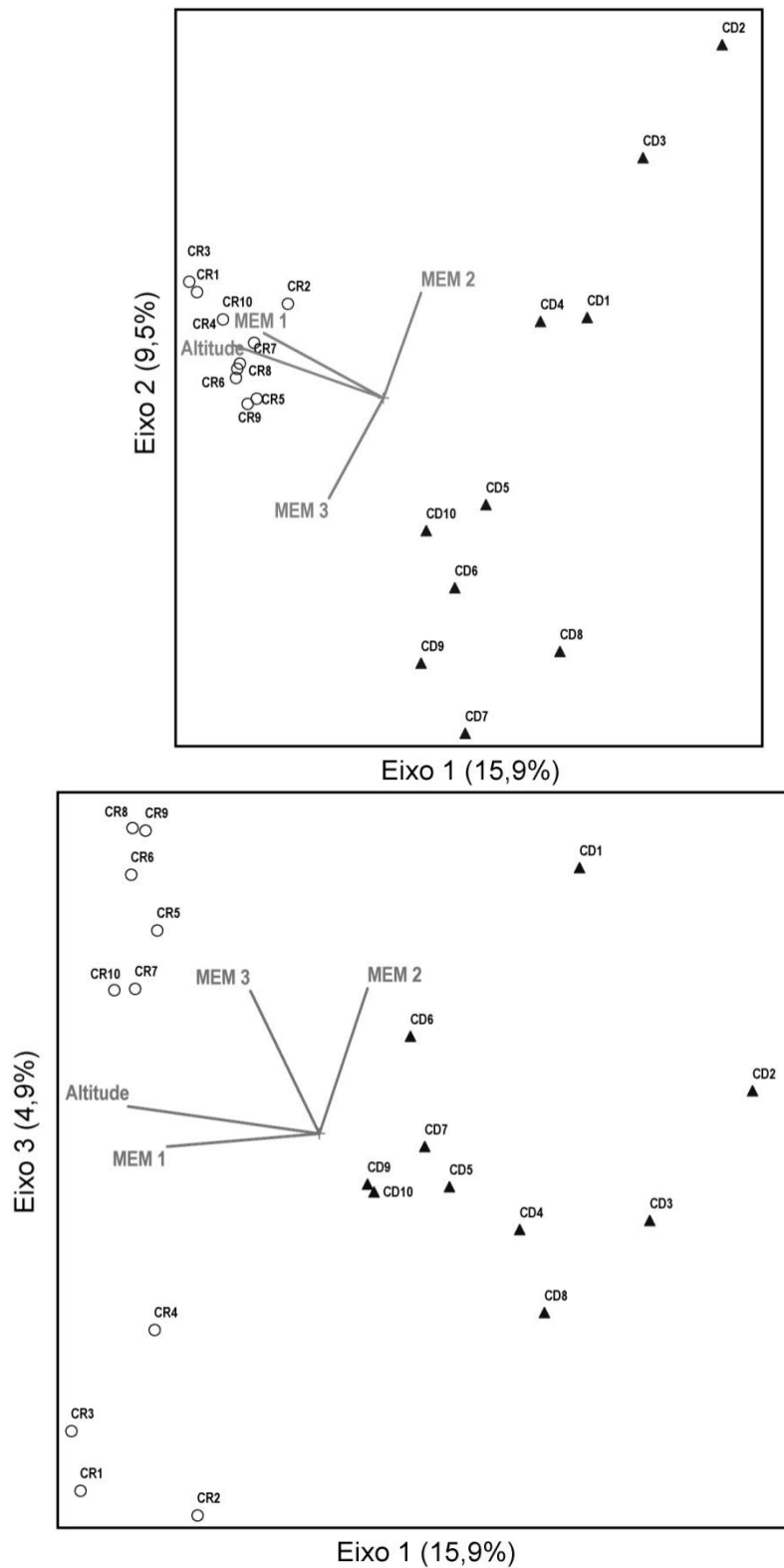


Figura 13. Ordenação pela RDA (Análise de Redundância) do conjunto de parcelas utilizadas para amostrar a vegetação lenhosa nas fitofisionomias de Cerrado Denso (triângulos cheios) e de Cerrado Rupestre (círculos vazios), no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil, com base na matriz de abundância das espécies. As setas indicam correlações *a posteriori* com a altitude e os filtros espaciais (MEM 1, MEM 2 e MEM 3).

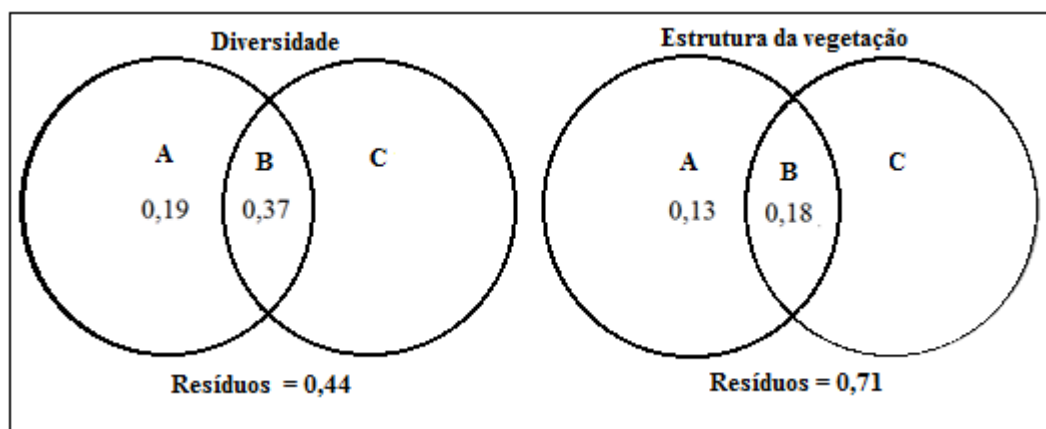


Figura 14. Diagramas de partição das variâncias para as correlações entre preditores ambiental e espacial e os descritores de diversidade e da estrutura fitossociológica da vegetação lenhosa nas fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre, no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. A = fração explicada exclusivamente pelo ambiente; B = fração explicada pelo ambiente estruturado espacialmente; C = fração explicada exclusivamente pelo espaço. Valores iguais a zero não são representados.

Tabela 5. Testes de significância das variáveis de diversidade em relação aos preditores altitude e filtro espacial (MEM 1). Resultados significativos ($p \leq 0,05$) aparecem em negrito.

Variáveis dependentes	g.l.		Altitude	MEM 1
Riqueza	1	F	9,517	0,011
		<i>p</i>	0,007	0,917
Índice de Shannon	1	F	13,640	0,283
		<i>p</i>	0,002	0,602
Índice de Simpson	1	F	6,919	0,011
		<i>p</i>	0,018	0,918

Tabela 6. Teste de significância das variáveis estruturais em relação aos preditores altitude e filtro espacial (MEM 1). Resultados significativos ($p \leq 0,05$) aparecem em negrito.

Váriaveis dependentes	g.l.		Altitude	MEM 1
Número de indivíduos	1	F	0,375	0,005
		<i>p</i>	0,548	0,947
Número de indivíduos ramificados	1	F	0,614	0,212
		<i>p</i>	0,444	0,651
Área basal	1	F	12,374	0,727
		<i>p</i>	0,003	0,406
Diâmetro médio	1	F	9,113	0,696
		<i>p</i>	0,008	0,416
Altura média	1	F	33,847	4,533
		<i>p</i>	< 0,001	0,048

DISCUSSÃO

O espaço foi o principal preditor das variações na composição florístico-estrutural do CR, o que sugere que o sucesso no estabelecimento da vegetação lenhosa dessa fisionomia foi condicionado à existência de micro-habitats, como concavidades que acumulam sedimentos, fendas em rochas etc. (Ribeiro e Walter 2008). Devido a isso, algumas espécies, principalmente *Lychynophora rupestris*, que provavelmente possuem adaptações favoráveis à colonização dos sítios mais restritivos, como capacidade de se estabelecer em fendas entre as rochas, alcançaram elevadas densidade relativa e importância social nessa fitofisionomia. Pelo mesmo motivo, muitas espécies (1/4 do total do CR) apresentaram, simultaneamente, apenas uma ocorrência nessa fitofisionomia e elevada abundância no CD, o que teria sido resultado da pouca disponibilidade de locais com solo mais bem estruturados no CR (Mews et al. 2014). Sendo assim, a estrutura florística do CR foi fortemente determinada pelas condições

ambientais locais, que apresentam características mais restritivas e menor quantidade de micro-sítios com capacidade de suportar espécies menos tolerantes.

Contudo, não registramos para o CR nenhuma espécie frequentemente citada como peculiares de ambientes rochosos, em outros estudos de Cerrados Rupestres da região central do Brasil (Pinto et al. 2009, Lima et al. 2010, Lenza et al. 2011, Marachipes et al. 2011, Abreu et al. 2012, Santos et al. 2012b, Lemos et al. 2013) - *Clusia weddelliana*, *Schwartzia adamantium*, *Mimosa setosissima*, *Tibouchina papyrus* e *Wunderlichia mirabilis*. Além disso, o CR aqui investigado apresentou espécies até então não mencionadas, a exemplo de *Lychnophora rupestris*, *Banisteriopsis campestris* e *Peixotoa cipoana*, além de estrutura e composição florísticas bastante distintas das apresentadas nos demais estudos, que também variaram entre si. Contudo, como esta é uma fitofisionomia onde os estudos começaram a ser desenvolvidos muito recentemente e necessitam de expansão para além da região central do país (Lemos et al. 2013), acreditamos que vários novos padrões florísticos estruturais ainda possam surgir para áreas distintas, refletindo a alta diversidade β normalmente encontrada no bioma Cerrado (Ratter e Ribeiro 2003).

As estruturas florísticas das duas fitofisionomias estudadas divergiram significativamente entre si por vários motivos: [1] a maioria das espécies socialmente mais importantes de cada comunidade, quando presentes em ambas, apresentou consideráveis diferenças em termos de contribuição no cômputo do IVI no CD e CR; [2] houve baixo compartilhamento de espécies (30% do total) entre as duas fitofisionomias; [3] 70% das espécies do CD foram exclusivas do mesmo, enquanto 49% das espécies do CR foram restritas a ele e [4] no CD, 17 espécies somaram dois terços superiores do IVI total, enquanto no CR apenas oito espécies representaram igual porção do IVI. Elevada heterogeneidade florística e/ou desigual distribuição da

abundância relativa das espécies também foram encontradas em estudos de CD ou CR comparados a outras fitofisionomias do cerrado *s.s.* (Andrade et al. 2002, Amaral et al. 2006, Felfili et al. 2007, Moreno et al. 2008, Moura et al. 2010, Abreu et al. 2012, Santos et al. 2012b, Mews et al. 2014). Na última dessas investigações, Mews e colaboradores (2014), após observarem grandes diferenças nas abundâncias das espécies de 10 áreas de Cerrados Típicos e Cerrados Rupestres adjacentes duas a duas, refutaram a até então a mais provável hipótese de que o CR poderia ser visto como refúgio para a biodiversidade das formações savânicas do Cerrado.

Variações na altitude e no espaço foram preditores bem correlacionados às variações florístico-estruturais exibidas tanto entre o CD e o CR, quanto somente na comunidade do CD. Nesta fitofisionomia, não encontramos predomínio de IVI por uma única espécie, assim como o ambiente encontrado se mostrou bastante homogêneo. Assim, acreditamos que a colonização de novas áreas por diferentes espécies, bem como o sucesso no seu estabelecimento, não estariam condicionados a fatores físicos e sim à eficácia das diferentes estratégias de dispersão, apresentadas pelas diferentes espécies existentes na área (Howe e Smallwood 1982). Desta forma, a diferença nas estratégias de dispersão seria, talvez, o principal modulador da influência do espaço sobre a estrutura florística nesta comunidade.

O aumento da altitude ao longo da área pareceu restringir o estabelecimento de espécies e o CR apresentou menor diversidade β , além de forte abundância monoespecífica (*Lychnophora rupestris*), o que se refletiu em menores valores para praticamente todos os descritores de diversidade, em relação ao CD. Essas diferenças de diversidade entre as duas fitofisionomias foram explicadas em parte pela altitude, parcialmente estruturada pelo espaço. Mews (2014) relata que além das variações altitudinais, as oscilações na disponibilidade de nutrientes nos solos e no relevo local

também podem ser responsáveis por diferenças de ocorrência e abundância de espécies lenhosas em formações savânicas do Cerrado. Contudo, os incêndios que vem ocorreram na área podem ter provocado diferentes alterações nas duas comunidades. Castro e Kauffman (1998) verificaram crescente perda (de biomassa) pelo fogo em gradiente fitofisionômico, menor nas formações fechadas e maior nas formações abertas, nas quais a maior parte da biomassa comportou como combustível. Assim, a vegetação mais robusta do CD pode ter sofrido menores impactos pelas queimas, e consequente, menores perda de diversidade, quando comparada à comunidade do CR.

A inclusão de indivíduos com DAS inferiores a 5,0 cm - critério mínimo de inclusão usual em estudos no Cerrado - possibilitou que CD e CR apresentassem densidades absolutas equivalentes entre si, pois a densidade de indivíduos com DAS superiores a 5,0 cm foi muito mais elevada no CD. Contudo, este critério não mascarou a estrutura vertical e horizontal mais robusta exibida pelo CD, com seu caráter arbustivo-arbóreo, em contraposição ao predominantemente arbustivo do CR. Assim, concordamos com Maracahipes et al. (2011), que sugerem critério de inclusão de DAS menor em inventários de Cerrados Rupestres, e propomos que este critério também seja adotado nas outras fisionomias savânicas do bioma Cerrado.

Encontramos para a estrutura fitossociológica do CR, em relação aos demais estudos dessa fitofisionomia: [1] a segunda menor dominância relativa dentre todos os estudos comparados (Amaral et al. 2006, Felfili e Fagg 2007, Pinto et al. 2009, Lima et al. 2010, Moura et al. 2010, Gomes et al. 2011, Maracahipes et al 2011, Abreu et al. 2012, Santos et al. 2012a, Santos et al. 2012b e Lemos et al. 2013) e [2] a densidade absoluta inferior ou apenas ligeiramente mais alta que nos mesmos estudos. Já a densidade absoluta no CR foi comparativamente alta, inferior apenas à de uma área de mesma fisionomia próxima à Floresta Amazônica (Maracahipes et al. 2011), que incluiu

monocotiledôneas e lianas. Em geral, o CR apresentou indivíduos com altura e diâmetro inferiores aos dos demais trabalhos em Cerrados Rupestres (Pinto et al. 2009, Lima et al. 2010, Moura et al. 2010, Gomes et al. 2011, Lenza et al. 2011, Abreu et al. 2012). Para o CD, quanto à estrutura vertical, encontramos altura semelhante ao estudado por Moreno et al. (2008) e, quanto à horizontal, encontramos indivíduos com os maiores diâmetros dentre todos os estudos comparados (Andrade et al. 2002, Moreno et al. 2008, Latansio-Aidar 2010).

Não há comparações anteriores das estruturas fitossociológicas de Cerrado Denso e Cerrado Rupestre entre si, embora outros trabalhos tenham comparado essas fitofisionomias, separadamente, a outras do Cerrado *s.s.* (Andrade et al. 2002, Amaral et al. 2006, Felfili e Fagg 2007, Moreno et al. 2008, Pinto et al. 2009, Latansio-Aidar et al. 2010, Lima et al. 2010, Moura et al. 2010, Gomes et al. 2011, Maracahipes et al. 2011, Abreu et al. 2012, Lemos et al. 2013). Gomes et al. (2011) e Abreu et al. (2012) verificaram que o Cerrado Rupestre exibiu igual área basal e menor densidade que o Cerrado Típico, em Goiás. Lemos et al. (2013) não encontraram um padrão claro de densidade e área basal ao compararem duas áreas de Cerrado Rupestre e duas de Cerrado Típico, em Tocantins, uma vez que os maiores e menores valores de densidade foram encontrados nas duas áreas de Cerrado Rupestre, que, ao mesmo tempo, exibiram os valores intermediários de área basal dentre as quatro áreas. Já Amaral et al. (2006) haviam encontrado menores valores de densidade e área basal para um Cerrado Rupestre em Brasília, quando comparadas a áreas de Cerrado *s.s.* a ele próximas, enquanto Pinto et al. (2009) relataram que esses parâmetros, no Cerrado Rupestre por eles estudado, foram semelhantes aos encontrados no “cerrado ralo”, todos na região central do Brasil.

Dentre os estudos que investigaram o Cerrado Denso, Andrade et al. (2002) encontraram valores mais altos de densidade e área basal, quando compararam a área estudada no DF a outras de Cerrado *s.s.* a ela próximas. Latansio-Aidar et al. (2010), por sua vez, encontraram maior valor de densidade e semelhante valor de área basal entre o Cerrado Denso investigado e outros “Cerrados” próximos no Brasil Central. Moreno et al (2008) também encontraram densidade mais alta para o Cerrado Denso, quando o compararam a diversas outras fitofisionomias as savânicas no Triângulo Mineiro. Comparando nossos resultados aos dos estudos citados, podemos dizer que, exceto pela elevada densidade de indivíduos encontrada no CR, provavelmente reflexo do critério de inclusão menos restritiva em termos de DAS, as duas fitofisionomias aqui estudadas tem descritores semelhantes aos das demais.

Estudos mais recentes vêm procurando elucidar a influência de preditores ambientais no estabelecimento das comunidades dos subtipos de Cerrado *s.s.*. Por exemplo, Abreu et al. (2012) demonstraram, através de uma análise de Correlação de Spearman, que a cobertura rochosa se correlacionou positivamente com a densidade e a área basal dentro de fitofisionomias de Cerrado Rupestre em Serra Negra, Goiás, enquanto as propriedades edáficas se correlacionaram positivamente com as composições florísticas de Cerrado Rupestre e Cerrado Típico, na mesma região. Por sua vez, Santos et al. (2012a) apontaram que pH, teor de silte e temperatura da superfície do solo estavam significativamente relacionadas à estrutura florística dos cerrados rupestres estudados no planalto central do Brasil, enquanto, em outro trabalho, demonstraram que a distância entre as áreas não esteve relacionada com a variação florística entre as mesmas (Santos et al. 2012b). Contudo, informações sobre o papel concomitante e individual dos preditores ambientais e espaciais como moduladores dos

padrões florísticos e fitofisionômicos do Cerrado ainda são raros, a exemplo do trabalho de Mews (2014) e da presente investigação.

Podemos dizer que, dentre os preditores ambientais analisados neste trabalho, apenas a altitude, embora parcialmente estruturada pelo espaço, está positivamente correlacionada às diferenças significativas entre os descritores das comunidades de CD e CR (estrutura florística, diversidade (Riqueza e Shannon) e a estrutura horizontal (área basal) e vertical dessas comunidades. Além disso, o espaço puramente considerado, também foi responsável pelas diferenças na altura entre os indivíduos das duas fitofisionomias.

CONCLUSÕES

As diferenças na estrutura florística, horizontal e vertical e na diversidade, apresentadas pelo Cerrado Denso e o Cerrado Rupestre estudados foram estruturadas pela variação espacial e altitudinal. O Cerrado Denso exibiu valores mais elevados para todos os descritores citados. Quando comparados a outros sítios de mesmas fitofisionomias, as fisionomias aqui estudadas também a eles diferiram quanto a esses parâmetros, reforçando a ideia de forte heterogeneidade ao longo do gradiente de vegetação do bioma Cerrado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferenças na estrutura florística, na diversidade e na estrutura da vegetação nas fitofisionomias CD e CR nos fazem acreditar que comunidades savânicas sobre

substratos rochosos e solos profundos devam ser consideradas como complementares em iniciativas de conservação. Do mesmo modo, a grande variação florística entre as fisionomias estudadas em locais distintos do bioma Cerrado, considerando-se, de modo particular, a abundância de espécies, nos faz apontar a necessidade de ampliação da investigação para novas áreas do bioma.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa que custeou meu sustento durante o desenvolvimento desse estudo; ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo suporte físico; ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo suporte intelectual; e ao Parque Nacional da Serra do Cipó, incentivo à pesquisa e pelo acolhimento dos pesquisadores envolvidos.

Capítulo II

STUDIES RELATED TO CARBON STORES IN THE BRAZILIAN CERRADO: WHAT HAVE WE LEARNED SO FAR?

ABSTRACT

In recent decades, the Brazilian Cerrado Biome has gone through a process of conversion into crop-and pasture lands and there has been little investigation towards increasing the knowledge on the ecological functions and environmental services of the native vegetation cover. The aim of this work was to review the studies on carbon storage in phytophysiognomies of the Brazilian Cerrado, with main focus in the methodologies used and their applicability to questions related to mitigating the greenhouse effect and conservation issues. We found that 94% of total carbon of this biome maybe stored underground, with values ranging from 26.45 to 360 Mg C ha⁻¹, according to the particular vegetation type. For Cerrado *stricto sensu*, we found an average value of 305.83 Mg C ha⁻¹, of which 88% are underground, with 7.31% in roots, and the remainder in the litter and aboveground biomass. Values of aboveground biomass varied from 2.10 Mg ha⁻¹, in a Gallery Forest, to 11.831 Mg ha⁻¹, in a Cerradão (forested savanna). However, different studies have produced quite different figures for the same vegetation type. We confirmed that the number of studies aiming at promoting the expansion of agriculture into the Cerrado surpasses considerably those focused in conservation, although there has been an increasing interest on the study of the aboveground biomass of the woody vegetation and some data about root biomass of native vegetation have also been produced. We concluded that there is an urgent need of methodological improvement toward assessing carbon storage by the various vegetation types, as well as the storage by their different strata and growth-forms.

Key words: Cerrado, carbon stores, atmospheric carbon, above and underground biomass.

RESUMO

O Cerrado brasileiro vem passando, nas últimas décadas, por um processo de conversão em terras agrícolas e pastoris e pouco vem sendo investigado no sentido de incrementar o conhecimento sobre as funções ecológicas e serviços ambientais de sua cobertura vegetal nativa. O objetivo do presente trabalho foi revisar os estudos sobre o estoque de carbono nas diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, com

ênfase nas metodologias utilizadas e sua aplicabilidade e nas questões relacionadas à mitigação do efeito estufa e à conservação. Encontramos que 94% do carbono total do Cerrado pode estar estocado no solo, em valores que variam de 26,45 a 360 Mg C ha⁻¹, de acordo com a fitofisionomia. Para o Cerrado *stricto sensu*, encontramos valor médio de 305,83 Mg C ha⁻¹, dos quais 88% está no solo, 7,31% nas raízes e o restante na biomassa epígea e serrapilheira. Os valores para a biomassa epígea variaram de 2,10 Mg ha⁻¹, na Floresta de Galeria, a 11,831 Mg ha⁻¹, no Cerradão. Entretanto, em diferentes estudos, valores muito diferentes têm sido encontrados para uma mesma fitofisionomia. Constatamos que o número de estudos promovendo a expansão da agropecuária no Cerrado supera consideravelmente aqueles voltados para a conservação, embora haja aumento recente no interesse pelo estudo da biomassa aérea da vegetação lenhosa e alguns dados de biomassa de raízes em ambientes naturais já tenham sido produzidos. Concluímos que há urgente necessidade de aprimoramento metodológico da avaliação do estoque de carbono nas diferentes fitofisionomias investigadas, bem como do estoque nos diferentes estratos e formas de crescimento.

Palavras-chave: Cerrado, estoques de carbono, carbono atmosférico, biomassa acima e abaixo do solo.

INTRODUCTION

Models of human social and economic development in the last few centuries have led to massive losses of biodiversity and vegetation cover, increased pollution and other alterations of the diverse landscapes of our planet, which can also be responsible for the current climate changes (Fearnside 2000, Crutzen, 2003). There is a current trend towards global warming, commencing in the second half of the twentieth century which has been possibly induced by increased proportion of greenhouse effect gases (GEG) in the atmosphere, particularly carbon dioxide (CO₂) (Crutzen 2003, FAPESP 2006). Many human activities release great amounts of CO₂ into the atmosphere, but land-use changes are probably one of the largest global sources of increased carbon gases (Harris et al. 2013). Contrastingly, the capture of atmospheric carbon by human activities occurs mainly through photosynthetic production in well-managed agricultural and forest cultivation systems (Brown 1997). In natural environments, such as Amazon Forest or Brazilian Cerrado, net annual flux of carbon by the vegetation is significantly correlated to El

Nino Southern or La Nina Oscillation events (Potter et al. 2009), as well as by fire occurrences (Castro & Kauffman, 1998, Potter et al. 2009).

In an consonant manner, atmospheric GEG rate regulation can be related to natural ecosystem function (Aduan et al. 2003), which can display considerable variation in the balance of carbon between vegetal sources, due, for instance, to respiration, burning and decay, and vegetal sinks, due to photosynthesis and plant growth, at a range of spatial and temporal scales (Foody et al. 1996). Paiva et al. (2011) emphasized that the global carbon cycle is closely related to tropical ecosystems which equally emit and absorb atmospheric CO₂. Whatever alteration occurs in these ecosystems, caused by either natural or human disturbances, entails variations in CO₂ flow, that are proportional to the intensity of the disturbance. Even the most recent studies point to gross losses of forest carbon stocks between 25% and 50% of previously published estimates (Harris et al. 2012), with deforestation in the tropics responsible for releasing significant quantities of gases and particles into the atmosphere (Fearnside 2000). However, according to Harris et al. (2012), emissions from changes in land-use are the most uncertain quantified component of the global carbon cycle.

Atmospheric CO₂ removal by natural environments has gradually received increasing attention from the scientific world (Aduan et al. 2003, Rezende 2006) and their capacity to do so is one of the research lines which aims at minimizing the problems caused by GEG emissions (FAPESP 2006). Forest research on quantifying carbon cycle figures is therefore of fundamental value, because it allows the assessment of the relationships between biomass dynamics – balance between growth standards, including regeneration, mortality and decomposition – and its consequences to carbon store in forest environments.

The Cerrado is the largest Neotropical savanna and the second largest biome in Brazil, extending for more than 200 million hectares (Oliveira-Filho & Ratter 2002). Despite being an important regulator of mass and energy exchanges with the atmosphere, few studies have addressed quantifying the role of Cerrado vegetation in the concentration of atmospheric GEG,

and the literature is therefore extremely poor in information about carbon cycling and storage in the diverse vegetation types of that biome (Aduan et al. 2006, Rezende et al. 2006, Potter et al. 2009, Paiva et al. 2011). This review aims at gathering and synthesizing the data produced so far for the Brazilian Cerrado, concerning either carbon or biomass stores and sequestration in its different vegetation types and strata. To this end, we searched in Portal de Periódicos Capes virtual library (<http://www.periodicos.capes.gov.br>) for publications in specialized journals, until January 2014 using the keywords: Cerrado carbon; Cerrado biomass; carbon stores; carbon stock; or as well as other related data supporting the subject.

CHARACTERISTICS OF CARBON STORES IN CERRADO

It is believed that the quantity of total systems organic material decreases along the Cerrado's wooded savanna/grassland formations gradient (Batlle-Bayer et al. 2010). As we could only find a single study measuring total carbon in a formation of this biome, where a value of 305.83 Mg C ha⁻¹ was found to a Cerrado *sensu stricto* (Paiva et al. 2011), we will work this topic by the investigations encountered for the carbon storage components, beginning from soil.

Studies indicate that 70% of carbon found in terrestrial environments could be stored in soils (Aduan et al. 2003). To Cerrado biome, Paiva and Faria (2007) cited that approximately 94% of total Cerrado carbon stores could be encountered on soil portion that includes root systems. Despite of this, Carvalho et al. (2010) showed, in a revision, that values for carbon on the superficial layer of soil can still rise, when Cerrado natural vegetation is substituted by no-tillage crops. They said that this rise can be a result of carbon derived from: remnants of native vegetation (both shoots and roots), calcareous added or plantation residuals.

Values for soil carbon stores can vary greatly within Cerrado domain, according to the phytophysiology presented. Batlle-Bayer et al. (2010) found, in a revision of six studies realized in different Cerrado phytophysonomies, values from 123 to 209 Mg C ha⁻¹ at the first soil meter depth, and 297 Mg C ha⁻¹ at a depth of 2 meters of soil and present these values

together to other much smaller, from 8.15 to 26.45 Mg C ha⁻¹. Pivello et al. (2010) shown that soil had less than 5.5% organic matter content in the first top 10 cm in a Campo Sujo environment. Wantzen et al. (2012) showed that the variation among different phytophysionomies, due to accumulated organic matter, is strongly influenced by the amount of litter and environmental humidity, confirming, for the first time to this biome, the patterns that decay of plant litter is greatly responsible for the supply of organic material to the soil (Aduan et al. 2003). In their study, Wantzen et al. (2012) found, at 30 and 60 cm depth, respectively, the greatest values to Gallery Forests (242.6 and 360 Mg C ha⁻¹) and water table flux (Veredas) environments (184.8 and 201.9 Mg C ha⁻¹) and smaller values, of 42.9 and 57.7 Mg C ha⁻¹ to Cerrado *sensu stricto* and of 37.3 and 62.3 Mg C ha⁻¹ to grassland.

Paiva and Faria (2007) had commented that plant litter over the soils of the Brazilian Cerrado influences the quantity of carbon stores in the surface layers. They argued that the probable reason for the Dense Cerrado, investigated by Castro (1996), present greater carbon values in the first 20cm of depth than the Cerrado *sensu stricto*, was the smaller size of plants in this second phytophysionomy, reflected in the thinner litter. In an opposite way, Bayer et al. (2006) compared different, with types of soil, receiving supposedly equivalent annual input of litter, in Cerrado areas. They demonstrated that soil carbon stores were greater in clay soil than in sandy soil and inferred that the presence of a greater concentration of clay can promote physical protection for OM fractions, fundamental to the stability of highly weathered soils in tropical regions. No study of the quality of the soil organic matter was found in this revision, despite it is known that this is the greatest and perhaps most complex carbon store of the majority of terrestrial ecosystems, and it can present varied proportion of active, slow and passive forms of cycling, under different natural conditions (Aduan et al. 2003).

Castro and Kauffman (1998) reported that the greatest part of living biomass in Cerrado fields was contained in the roots. This is in line to Paiva and Faria (2007), who said that there is a high concentration of carbon in roots of Cerrado vegetation, in relation to the its aerial part, which represents an efficient strategy for conservation of nutrients because of fire factors.

Oliveras et al (2013) corroborated this theory by their experiment, in which they compared Campo Sujo areas with different fire regimes. There, although total root biomasses from the soil surface down to 30 cm depth did not differ between treatments, total root distribution did, according to soil depth. While it was relatively homogeneous in the unburnt plot (37.1% at 0–10 cm; 32.1% at 10–20 cm; 30.9% at 20–30 cm), in the burnt plots the proportion of roots decreased with soil depth (49.0–57.9% in the first 10 cm; ~28% at 10–20 cm; and 13.4–22.2% at 20–30 cm). Furthermore, fine (<0.6 cm)-root mass, that decreased with soil depth in all treatments, had the highest proportion at the surface in burnt plots. Ribeiro et al. (2011) consider there is still a lack for root investigations in Cerrado phytophysiognomies and Batlle-Bayer et al. (2010) believe that subterranean biomass in Cerrado phytophysiognomies may be greater than aerial one.

Although the proportion between subterranean and aerial biomass (ratio root/shoot) of different plant species and physiognomies can greatly vary, and depends on the age or successional stage of the vegetation, species' functional group and abiotic characteristics where the communities are established (Aduan et al. 2003), we could only find two studies, tangential to this relation, in the Cerrado biome. While in the first one Batlle-Bayer et al. (2010) showed that in the same environments the subterranean biomass (roots and soil) can be up to 71% of total biomass, in the second one Paiva et al. (2011) verified that in an area of the Cerrado *sensu stricto* in Brasília Federal District, soil carbon stores corresponded to 88% of the total carbon, while roots were 7.31% and the remainder corresponded to the aerial portion and plant litter, while the estimated total carbon in the environment was equivalent to 305.83 Mg C ha⁻¹.

Santana et al. (2013) related aerial biomass to soil conditions. They demonstrated that above ground biomass has a significant and directly proportional relationship with accumulated organic matter, mineral content and drainage capacity from the layer 0.00 to 0.20 m of soil and that it shows a gradient among measured phytophysiognomies: higher in Cerradão (11.831 Mg ha⁻¹) and decreasing to Gallery Forest (11.287 Mg ha⁻¹), Cerrado *sensu stricto* (8.013 Mg ha⁻¹) and Campo Sujo (4.223 Mg ha⁻¹). Oliveiras et al. (2013) did not find a clear relationship

between fire regimes and carbon storage in graminoid and forbs/sub-shrubs. While graminoid biomass was lower in unburnt and long term (each four years) areas than in areas burned every two years, forbs/sub-shrubs biomass was low in unburnt plots and the highest in four years burnt areas. However, these authors could verify that there is a correlation between seasonal hydric variation and carbon storage in both strata cited above: in the wet season biomass was higher than in the dry one, in all treatments. Lopes and Miola (2010) measured aerial biomass in different phytophysiognomies and encountered that Cerradão have a higher value (9.90 Mg ha^{-1}) of aboveground carbon than Typical Cerrado (3.85 Mg ha^{-1}), Dense Cerrado (3.3 Mg ha^{-1}) and Gallery Forest (2.10 Mg ha^{-1}).

METHODS OF CARBON MEASUREMENT IN CERRADO

PHYTOPHYSIOGNOMIES

We found ten studies that have been recently published with the theme of this section: Bayer et al. (2006), Rezende et al. (2006), Paiva and Faria (2007), Lopes and Miola (2010), Paiva et al. (2011), Ribeiro et al. (2011), Rosolen et al. (2012), Wantzen et al. (2012), Santana et al. (2013) and Oliveras et al. (2013). These studies were conducted in different formations, many times with some confusion in phytophysiognomies nomenclature, and considering different portions of carbon stores in each (soil; above ground vegetation – trees, shrubs and herbaceous; root biomass and plant litter).

Five of these studies (Lopes and Miola 2010, Rosolen et al. 2012, Wantzen et al. 2012, Oliveras et al. 2013, Santana et al. 2013) discriminated in which phytophysiognomies they were conducted. The first work investigated Cerradão, Dense Cerrado, Typical Cerrado and Gallery Forest. The second investigation focused on Dense Cerrado, term used there as a synonym of “Cerradão”. Gallery Forest, Vereda and Cerrado *sensu stricto* were the focus of the third work. The fourth investigated Campo Sujo and the last one Gallery Forest, Cerradão, Cerrado *sensu stricto* and Campo Sujo, as well as the fifth one also brought this last phytophysiognomy as object of study. Among the other studies, four had a focus of Cerrado *sensu stricto* (Rezende et

al. 2006, Paiva and Faria 2007, Paiva et al. 2011, Ribeiro et al. 2011) and one concerned the “native vegetation of the Cerrado” (Bayer et al. 2006).

The soil portion was investigated through different methods in six of these studies (Bayer et al. 2006, Paiva and Faria 2007, Paiva et al. 2011, Rosolen et al. 2012, Wantzen et al. 2012, Santana et al. 2013). Bayer et al. (2006) measured the organic carbon until 20cm depth following Nelson and Sommers (1982) and used soil density to calculate carbon stores in this portion. Paiva and Faria (2007) measured organic carbon until 40 cm depth using the Walkley-Black method (adapted) and also used soil density to calculate the carbon stored. Paiva et al. (2011) investigated organic carbon until 30 cm depth and also used soil density to calculate carbon stores from the equation $s = \delta d100 c/100$, where s: carbon store (t/ha), δ : soil density, d: soil depth (cm) and c: carbon content. Rosolen et al. (2012) evaluated the changes in organic carbon amount (C%) and nature ($\delta^{13}\text{C}$) of Dense Cerrado, cited there as a synonymous of Cerradão, after conversion in areas of different land uses in the first 30 cm depth of the soil. Wantzen et al. (2012) studied samples taken from up to 60 cm depth and organic carbon was determined by chromatography after dry combustion (1400 °C). Santana et al. (2013) collected soil on 20 cm depth and calculated the redness index (IAV), according to Torrent, Barrón (1993).

Root biomass was investigated in four studies (Paiva and Faria 2007, Paiva et al. 2011, Ribeiro et al. 2011, Oliveras et al. 2013). To determine fresh and dry root biomass in Paiva and Faria (2007), roots from soil samples up to 30 cm depth were separated (2 mm sieve mesh), weighed, dried (70 °C until stabilization) and weighed again. However, the authors cited did not clarify the calculation used to estimate carbon stored in this strata. More recently, Paiva et al. (2011) using similar soil samples and root biomass determination method, clearly indicated that they considered the carbon mass stored to be 48 % of dry biomass. In Ribeiro et al. (2011), the biomass of roots separated from soil was investigated (1 cm sieve mesh) from 1 m depth soil. et al. (2013), in order to obtain root biomass, air dried soil samples (30 cm deep), separated the roots - in two steps: (1) visible roots with tweezers and (2) addition of decahydrate

pyrophosphate of sodium solution (0.27%) to disrupt soil aggregates, and then washed the solution in tap water and collected the roots in a soil sieve - and dried them at 60°C.

Aerial vegetation strata carbon and biomass were also investigated using different methods - we found six studies, in which methods could be separated into two types: 1: direct or destructive, where the vegetation is cut and weighed (FAPESP 2006) and then carbon is calculated as a fraction of the biomass; or 2: indirect. The first one can be applied, with small methodological alterations, to diverse strata of vegetation (herbaceous, shrubs or arboreal). Nevertheless, it is necessary to fell a large number of individuals of each species for sample measurements, greatly hindering a more effective characterization of a unique wooded in the Cerrado (Ribeiro et al. 2011). The second method, indirect or non-destructive, based in forest inventory, is more appropriate for the characterization of carbon stored in wooded communities in large tracts (FAPESP 2006). In this case, a mathematical equation or model is used where biomass is the dependent variable, correlated to independent variables which are easily measured in the field (FAPESP 2006) such as diameter of the trunk at 30 cm from the soil (bD), diameter at 1.3 m from the soil, or at breast height (BHD), total height (H), volume (V) and wood density (WD). Such models can be applied to each of the inventoried species, separately, adding specific density of the wood to the predictor variables, or to the community as a whole, without considering density of the wood (Ribeiro et al. 2011).

We found three studies of aerial carbon quantification by destructive method, two of them providing allometric equations for wooden vegetation. Rezende et al. (2006) quantified green and dry trees biomass, as well as carbon stored in them, by destructive method in the Cerrado *sensu stricto*. They felled 174 individuals of different species, each one of them selected in the same proportion of their populations in the community. Data of bD and H were used as independent variables in mathematical models, in order to select the best equation for each of the dependent variable cited above. These equations presented determination coefficients above 93% with standard error between 25.03 and 28.09%. Ribeiro et al. (2011) also investigated arboreal in Cerrado *sensu stricto* by a destructive method. Five models, that

had as independent variables CHD, H and WD (by species), were tested for the development of allometric models for individual tree aboveground biomass, using 120 felled individuals, that had been selected from the community in similar proportions as their species dominance found in forest inventory. The best three equations presented a determination coefficient of about 89% and standard error between 0.365 and 0.394.

Aboveground herbaceous and shrub strata, even though investigated in a destructive way, were not used to provide allometric equations. In Ribeiro et al. (2011), carbon stored in the shrub strata, was also determined by removing all wooded vegetation with diameter (30cm from soil) < 5 cm from a plot, weighing and, subsequently taking a random sample of about 200 g to determine the fresh- to dry weight relation. Oliveras et al. (2013) clipped all the herbaceous individuals (graminoids - Poaceae and Cyperaceae- and forbs/sub-shrubs) from plots, then oven dried, ground and assumed a C proportion of 0.45 for herbaceous biomass.

The first study cited in the paragraph before (Rezende et al. 2006) provided an mathematical model wich was used in two subsequently carried out investigations (Paiva et al. 2011, Santana et al. 2012). Paiva et al. (2011) estimated the carbon stored in arboreal strata above soil in the Cerrado *sensu stricto* from forest inventory data (bD and H) applying the predetermined mathematical model cited above (Rezende et al. 2006) for the same environment investigated. Santana et al. (2012) used the same equation from Rezende et al. (2006) but they added one more variable to it, the IAV, arguing that as this index has a positive and significant correlation to above ground carbon, it should be used in order to help differing different phytophysionomies.

POSSIBLE THEMES WHICH LACK RESEARCH

Avoiding the increase of GEG in the atmosphere was the principal argument used against deforestation in tropical regions in the early years of the millennium (Fearnside 2000) but, nowadays, other services such as conservation, livelihoods support or delivery of fresh water are also highlighted as important considerations in the selection of priority areas for

tackling deforestation (Miles and Kapos 2008). There is already an increasing environmental conscience about the role of the tropical savannas in the total atmospheric carbon balance (Batlle-Bayer et al. 2010). In this sense, to the Cerrado biome there is sufficient floral and phytosociological data to supply important information about diversity, number of individuals per hectare and basal area (Ratter et al. 2003, Ribeiro and Walter 2008), but studies related to the quantification of carbon stores are still incipient (FAPESP 2006).

In relation to the soil portion, it is already known that the degradation caused by inappropriate use of the land in its different physiognomies diminishes carbon stores and soil fertility (Wantzen et al. 2012), despite one may say that agricultural soil in environments previously occupied by Cerrado vegetation can present carbon stores equal to those found in preserved Cerrado areas (Bayer 2006). However, the few encountered studies also report to the proportions established by Castro (1996) in his Master's dissertation, and verify only the more superficial levels, and extrapolating the data for a depth of 2 m. It was not found other studies which performed sampling to this depth, so it is impossible to verify the applicability of these data.

Aduan et al. (2003) considered the great lack of data referring to the dynamic of carbon in the biome, mainly concerning the variation of physiognomic types of vegetation and the variations of soil and climate. In accordance, Santana et al. (2013) argue that, as phytophysionomies vary in relation to soil, the development of ways to estimate biomass and carbon for each region in Cerrado, considering the "specific needs of vegetation", is fundamental to their management. Even in well-studied savanna phytophysionomies of the biome, which present a great interest in extraction for energy production (Imaña-Encinas et al. 2009), data produced is normally related to local arboreal-wooded communities and neglected, in the majority of cases, herbaceous strata and frequently shrub strata. The majority of studies investigated Cerrado *sensu stricto* environments and were not standardized – investigating different portions of carbon stores, with varied methodologies – making comparisons difficult between result data.

The development of mathematical equations to estimate carbon stores in the Cerrado *sensu stricto* physiognomy is now reasonably satisfactory, considering arboreal communities as a whole. Imaña-Encinas (2009) tested the applicability of 16 of these equations, comparing the results to the volume of wood calculated by destructive method to select the most appropriate. However, the use of these equations is still infrequent.

Development of species specific data is the best way to achieve precise and reliable estimates for biomass (Fonseca et al. 2012). Then, determination of wood species specific density is fundamental for the refinement of such mathematical expressions, but is still poorly established for Cerrado phytophysiognomies. Few studies presented quantification of carbon by Cerrado species from specific wood density calculations using species encountered in the vegetation inventory, which hampers further non-destructive studies, for exclusive use of mathematical equations. In other biomes, for where forest species have had the wood density determined, it is possible to estimate in a non-destructive manner and with a great accuracy the carbon stores in their environments. A good example is the work of Sharma et al. (2011), which used specific densities to estimate carbon stores in different slopes in the Himalaya regions, without cutting down a single tree.

All studies sought to quantify local carbon stores in specific moments, that only permit an estimate of possible GEG increase in the atmosphere in the case of degradation of these environments. However, as they do not concern biomass increment, which is the change in standing biomass from one measurement period to the next (Becknell 2012), they do not assess the capability of carbon sequestration of these stores in their diverse components, that is important over time. Simpson-Junior (2002), in a dendrometry study with the aim of quantifying areal biomass gains in Cerrado trees over time, did not obtain satisfactory results. Paiva et al. (2011) verified a 2.5 times increase in the density of trees in the study area, when compared to measurements made in 2000. But the authors did not extrapolate this data for carbon stored in the biomass, which could be done through an equation which uses the base area as an independent variable.

FINAL CONSIDERATIONS

Brazilian Cerrado is an important cropland frontier, as 70% of its area has a good potential for agricultural expansion (Bayer et al. 2006). In the last few decades, it has passed through a process of conversion to agricultural and pasture lands and reached a high level of fragmentation and degradation, principally by agriculture (Carvalho et al. 2009), ordering the status of a threatened biome (Myers et al. 2000, Batlle-Bayer et al. 2010). This is in accordance to Miles and Kapos (2008) considerations, which predict that pressures, resulting from continuing demand for food, timber and increasing biofuels, on ecosystems perceived to contain low carbon levels may threaten them simply because they are the only remaining accessible source of land and forest products.

Alterations in the natural conditions such as burning, deforestation and aggressive agricultural practices can decrease OM stored and consequent alteration of physical chemical soil properties, such as loss of capacity to retain water and nutrients (Batlle-Bayer et al. 2010). Another consequence is the emission of GEG into the atmosphere, which aggravates the effects of climate change on the planet (Fearnside 2000). In fact, misuse of the land is the most responsible factor for GEG emission, second only to combustion of fossil fuels on the global scale (Batlle-Bayer et al. 2010, Harris et al. 2013). As protected areas within the biome are rare better quantification of carbon deposits stored in different physiognomies in the moment and over time is fundamental to subsidize considerations about greenhouse effect mitigation, conservation and protection against agricultural expansion. Some benefits are than necessities to reach these purposes: 1- search all phytophysionomies of the biome, not only Cerrado *sensu stricto*; 2- working all strata of these phytophysionomies, not only soil and above-ground live biomass; 3- improve soil data to greater depths; 4- also investigate herbaceous plants, not only wooded species; 5- develop specific wood density data by species for the entire wooded vegetation of the biome communities.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank to: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), for the scholarship that paid for my livelihood during the development of this study, and Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, for intellectual support.

Capítulo III

ESTIMATIVAS DE ESTOQUE DE CARBONO PARA CERRADOS SOBRE SOLO PROFUNDO E SOLO ROCHOSO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DO CIPÓ, MINAS GERAIS, BRASIL

INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação mundial em relação às mudanças do clima no planeta, decorrentes, principalmente, das emissões para atmosfera de gases de efeito estufa (GEE), como o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (Carvalho et al. 2010). O bioma Cerrado, devido à sua grande extensão territorial, se constitui num expressivo reservatório de carbono (Delitti et al. 2006) que, dependendo da atividade ou do impacto a que for submetido, pode facilmente retornar para a atmosfera sob a forma de CO₂. A substituição da vegetação nativa no bioma, seja pelo agronegócio, mineração, ou urbanização (Sano et al. 2008, Sano et al. 2010), aliada às frequentes queimadas, naturais ou induzidas pelo homem (Coutinho 1978, Klink e Machado 2005), são exemplos desse tipo de atividade.

Estima-se que haja 49,5 milhões de hectares de pastagens degradadas no domínio bioma funcionando como fonte desse gás para a atmosfera (Silva et al. 2004). Contudo, devido à alta capacidade de crescimento e de regeneração da sua vegetação (Lopes e Miola 2010), a conservação de áreas naturais e o correto manejo de áreas já degradadas fazem com que o Cerrado seja ambiente com grande potencial para sumidouro do CO₂ atmosférico (Vale e Felfili 2005, Carvalho et al. 2010). Várias das suas espécies lenhosas podem, inclusive, ser usadas tanto para esta finalidade, quanto para a geração de renda extra para pequenos produtores, uma vez suas raízes profundas

viabilizam rebrota seguida de rápido crescimento após o corte dos fustes (Vale e Felfili 2005).

Apesar de seu papel como regulador da emissão dos GEE na atmosfera, poucos estudos vêm sendo desenvolvidos com a intenção de quantificar as trocas gasosas mediadas pelas diversas fitofisionomias do Cerrado (Aduan et al. 2006, Rezende et al. 2006). Esses estudos são, contudo, um passo necessário para determinar as consequências da modificação do uso da terra no bioma, em escalas local, regional e global (Castro e Kauffman 1998), bem como para subsidiar o correto desenvolvimento de projetos de manejo sustentado no seu domínio (Vale et al. 2002). Entretanto, para se quantificar exatamente o estoque de carbono (EC) em uma comunidade vegetal é necessário o emprego de métodos destrutivos, que preveem o abatimento da vegetação (ver capítulo II desta dissertação). Este impacto, contudo, pode ser evitado pelo emprego de métodos não destrutivos, que, embora não tão precisos, fornecem boas estimativas do EC na vegetação, em áreas inventariadas para essa finalidade (Delitti et al. 2006).

É possível, por exemplo, estimar o EC no estrato aéreo da vegetação lenhosa do Cerrado *sensu stricto*, através do emprego de modelos matemáticos (equações), onde parâmetros facilmente mensuráveis em campo, tais como diâmetro a altura da base (DAS) e altura (H), entram como variáveis preditoras e o EC entra como variável dependente (Ribeiro et al. 2011). Entretanto, essas equações ainda foram pouco aplicadas e ainda existe uma carência de dados comparativos entre as diferentes fitofisionomias que compõem o Cerrado *sensu stricto* (ver capítulo II desta dissertação).

Desta forma, o primeiro objetivo do presente estudo foi estimar, pelo emprego de diferentes equações disponíveis na literatura, o estoque de carbono (EC) aéreo da vegetação lenhosa em Cerrado Denso (CD) e Cerrado Rupestre (CR), situados em áreas

adjacentes no Parque Nacional da Serra do Cipó (PARNACIPÓ), MG, bem como comparar os resultados obtidos para as duas fitofisionomias entre si. Como segundo objetivo, buscamos avaliar a aplicabilidade das diferentes equações, inferindo sobre as melhores linhas de corte de DAS e H para as vegetações de CD e de CR. Em terceiro lugar, procuramos verificar a possível relação entre a estrutura florística das fisionomias estudadas e as estimativas de EC para elas produzidas, buscando inferir sobre a aplicabilidade das equações utilizadas em diferentes áreas das mesmas fitofisionomias ao longo do domínio do Cerrado *sensu stricto*.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo – O PARNACIPÓ está situado em região cujo clima é caracterizado como tropical de altitude do tipo Cwb, com temperaturas mínimas anuais de 15 a 16° C e máximas de 27 a 30 ° C e precipitação anual entre 1300 e 1600 mm, concentrada nos meses de novembro a março (ICMBio 2009). A área de estudo se encontra na porção leste do parque (19°35'40" S – 19°36'55" S e 43°62'80" O – 43°62'52" O) (Figura 1 A e B) e exibe considerável variação de altitude entre as porções norte (812 – 823 m) e sul (954 – 999 m). A porção norte é ocupada por vegetação de Cerrado Denso (CD), as porções central e sul são ocupadas por Cerrado Rupestre (CR) (Figura 1, B e C). O CD (Figura 2A) está em relevo mais plano, com declividade de até 3,5, enquanto o CR (Figura 2B) está numa área íngreme, com inclinação de 7 a 24,0%. O presente estudo foi conduzido entre os anos de 2012 e 2013 e a área apresenta histórico de fogo nos anos de 2011 e 2012.

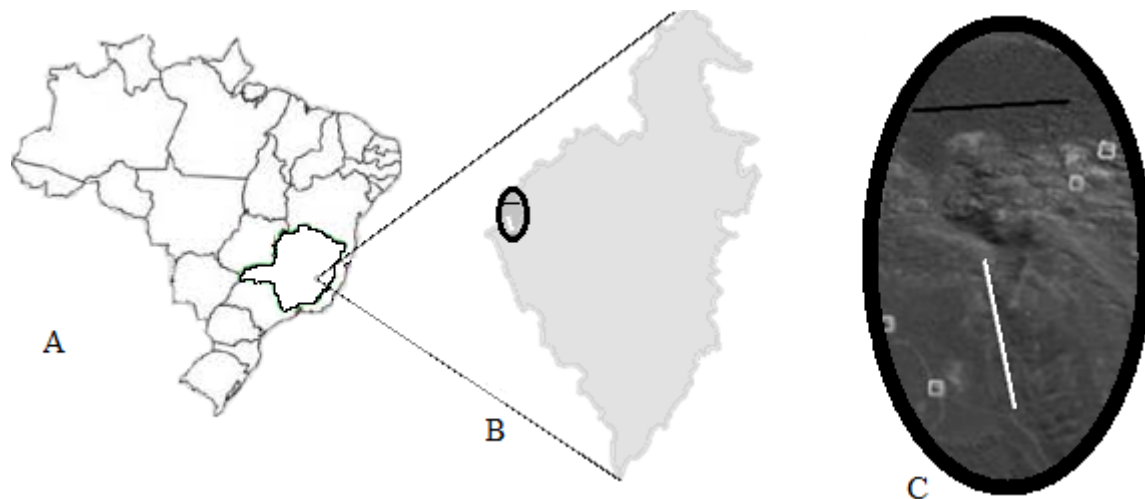


Figura 1. A – Localização do Parque Nacional da Serra do Cipó no Estado de Minas Gerais, Brasil. B – Posicionamento das transecções utilizadas para amostrar o CD (preto) e o CR (branco) na Unidade de Conservação. C – Representação das transecções nas áreas ocupadas pelas duas fitofisionomias (CD linha preta e o CR linha branca).



Figura 2. Estrutura da vegetação lenhosa nas duas fitofisionomias estudadas no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. A – Cerrado Denso; B – Cerrado Rupestre.

Alocação das parcelas – Utilizando o programa GOOGLE EARTH (2008), determinamos previamente dois transectos, cruzando as áreas de CD e CR (Figura 1C). Com o auxílio do programa GPS TrackMaker®, sorteamos o ponto inicial para a primeira parcela de cada transecto, consideramos a distância mínima de 10 m até as trilhas que delimitam a área (Eisenlohr et al. 2013) e posicionamos os pontos iniciais

das nove parcelas seguintes em intervalos de aproximadamente 50 m, pois essa foi a distância que permitiu a alocação de 10 parcelas em cada transecto. Localizamos em campo os pontos pré-estabelecidos e, a partir deles, alocamos 20 parcelas de 10 m × 20 m, totalizando área amostral 0,4ha (0,2 ha por fitofisionomia).

Inventários florístico e fitossociológico – Inventariamos todos os indivíduos lenhosos vivos com diâmetro à altura do solo (DAS) $\geq 1,9$ cm, dos quais medimos o DAS com auxílio de fita métrica e também estimamos a altura total com auxílio de uma vara de 3m de altura. Coletamos o material botânico para posterior identificação com auxílio de bibliografia especializada, ajuda de especialistas e/ou comparação com material depositado no Herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Minas Gerais (BHCB), para o qual destinamos o material testemunho. Verificamos a nomenclatura das espécies pelo site da Lista de Espécies da Flora do Brasil (2013) e a classificação das famílias seguiu o *Angiosperms Phylogeny Group III* (APG III 2009).

Estoque de carbono (EC) – Duas equações matemáticas desenvolvidas para a estimativa de biomassa lenhosa aérea viva para vegetação de Cerrado *s.s.* (Vale *et al.* 2002, Delitti *et al.* 2006), foram utilizadas na estimativa do EC no CD e no CR. Para tanto, aplicamos nessas duas estimativas a conversão proposta por Browning (1963), na qual o carbono estocado é considerado como 50% da biomassa seca da madeira. Transformamos ainda a segunda equação, que fornecia resultados em g, para kg. Uma terceira equação, que já estima o diretamente EC e uma para o estoque de carbono no mesmo estrato (Rezende *et al.* 2006) também foi utilizada para estimar o EC em ambas as fitofisionomias. As equações tal como utilizadas são apresentadas a seguir:

- Equação 1 (E1) (Vale *et al.* 2002): $EC = (26,501 - 7,0631X + 0,5169 X^2) \cdot 2^{-1}$, onde EC= estoque de carbono acima do solo (kg/árvore) e X= DAS ($\geq 5,0$ cm).

- Equação 2 (E2) (Delitti *et al.* 2006): $EC = 28,77 X^2 H \cdot 1000^{-1} \cdot 2^{-1}$, onde EC= estoque de carbono acima do solo (kg/árvore), H= altura (de 1,0 m até 6,7m) e X= DAS (de 2,5 cm até 25,0 cm).
- Equação 3 (E3) (Rezende *et al.* 2006): $EC = - 0,24564 + 0,01456 X^2 H$, onde EC= estoque de carbono acima do solo (kg/árvore), H= altura (de 1,0 m a 11,0 m) e X= DAS (de 5,0 cm até 32,2 cm).

Para cada equação selecionada, e considerando os seus respectivos limites de corte para H e DAS, calculamos, para cada ambiente, o estoque de carbono por indivíduo (kg) e, posteriormente, por parcela (kg ha⁻¹), multiplicando-se a soma dos EC dos indivíduos da parcela (0,2 ha) por 50. Consideramos a média dos valores das parcelas como o valor do estoque de carbono total por hectare em cada fitofisionomia. Para testar os efeitos dos critérios de corte sobre os valores de cada estimativa, recalculamos os valores gerados por cada equação aplicando os limites mais restritivos e expressamos em porcentagem a diferença entre os dois valores.

Tratamento dos dados – Efetuamos Análise Multivariada de Variância (MANOVA) no intuito de testar a variação nas estimativas de carbono entre as duas fitofisionomias analisadas (CD e CR). Modelamos o componente espacial incluindo filtros espaciais escolhidos mediante a aplicação de seleção progressiva (Blanchet *et al.* 2008). A seleção progressiva foi aplicada separadamente para cada variável resposta; filtros selecionados pelo menos uma vez fizeram parte do modelo final, o que possibilita controle mais efetivo da inflação do erro tipo I (Peres-Neto & Legendre 2010). Os filtros espaciais submetidos a essa seleção foram criados pelo método MEM (*Moran's Eigenvector Maps*; Dray *et al.* 2006). No presente caso, ponderamos a intensidade das conexões da matriz espacial (função "min-max") na obtenção da matriz-produto (Dray *et al.* 2006, Borcard *et al.* 2011). Um único filtro (MEM 1) foi selecionado. Esse filtro mostrou,

inclusive, poder para remover a estrutura espacial dos resíduos da MANOVA, permitindo o atendimento ao pressuposto clássico de independência estatística (Diniz-Filho et al. 2003). Então, particionamos a variância explicada [a] exclusivamente pela diferença de fisionomias (tratamento), [b] compartilhada entre o tratamento e o espaço, [c] exclusivamente pelo espaço e [d] residual. Testamos a fração [a] por ANOVA baseada em permutações, assim dispensando o atendimento a pressupostos relativos à distribuição de frequências (Peres-Neto et al. 2006, Borcard et al. 2011). Utilizamos os pacotes *packfor*, *spacemakeR* e *vegan* do ambiente R v. 3.0.2 (R Development Core Team 2013).

Da mesma forma, preparamos um modelo linear (LM) particionado que explicasse a variação das estimativas de carbono em função da variação florístico-estrutural em cada fitofisionomia. Esta última foi operacionalizada na forma de escores extraídos do Eixo 1 da ordenação por escalonamento multidimensional não-métrico - NMDS (detalhada por McCune & Grace 2002), que foi produzido a partir da matriz de abundância de espécies. O eixo 1 foi escolhido porque foi aquele que refletiu fielmente a dicotomia fitofisionômica da área estudada (ver capítulo I desta dissertação).

RESULTADOS

O cálculo do EC por fitofisionomia, de acordo com o critério de inclusão de DAS e H, abrangeu número diferente de indivíduos em cada equação (Tabela 1). No total, 835 indivíduos com $DAS \geq 2,5$ cm foram inventariados, sendo 466 no CD e 369 no CR. Uma vez que as fitofisionomias estudadas apresentaram grande número de indivíduos com DAS inferior a 5,0 cm (Figura 3), este limite mínimo influenciou fortemente o número de indivíduos incluídos nos cálculos de EC por equação, excluindo 182 dentre os indivíduos inventariados para o CD e 215 para o CR em E1 e E3. A H

máxima de 6,7 m foi o segundo critério mais restritivo, respondendo pela exclusão de 89 indivíduos em E2 (Figura 3). Já o critério de DAS máximo de 25,0 cm e 32,2 cm excluiu, respectivamente, 18 e cinco indivíduos no CD e um no CR (DAS > 25,0 cm) enquanto o critério de H máxima de 6,7 m e 11,0 m excluiu 88 e dois indivíduos no CD e nenhum no CR (Figura 3).

Tabela 1. Número de indivíduos incluídos por equação, segundo seus critérios de inclusão, para as fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil.

Critérios de inclusão	Número de indivíduos incluídos		
	CD	CR	Total
Total inventariado	466	369	835
E1: $EC = (26,501 - 7,0631X + 0,5169 X^2) \cdot 2^{-1}$			
DAS \geq 5,0 cm	284	154	438
E2: $EC = 28,77 X^2 H \cdot 1000^{-1} \cdot 2^{-1}$			
2,5 cm \leq DAS \leq 25,0 cm; 1,0 m \leq H \leq 6,7m	370	306	676
E3: $EC = - 0,24564 + 0,01456 X^2 H$			
5,0 cm \leq DAS \leq 32,2 cm; 1,0 m \leq H \leq 11,0 m	278	141	419

A perda de indivíduos pelo aumento no limite mínimo de DAS de 5,0 cm, se aplicada à E2, equivaleria a 8,09% e 12,71% do EC estimado para o CD e CR, respectivamente. Para a mesma equação, o limite mínimo de 1,0 m de H não provocaria diferença expressiva nas estimativas de EC para nenhuma das fitofisionomias. Já a diminuição do limite máximo de DAS para 25,0 cm causaria perda de 64,23% para o CD e 12,40% para o CR pela E1 e, pela E3, apenas o CR perderia 6,30% do EC estimado. A diminuição da H máxima para 6,7 m provocaria redução nas estimativas de EC para o CD de 69,20% pela E1 e 75% pela E3.

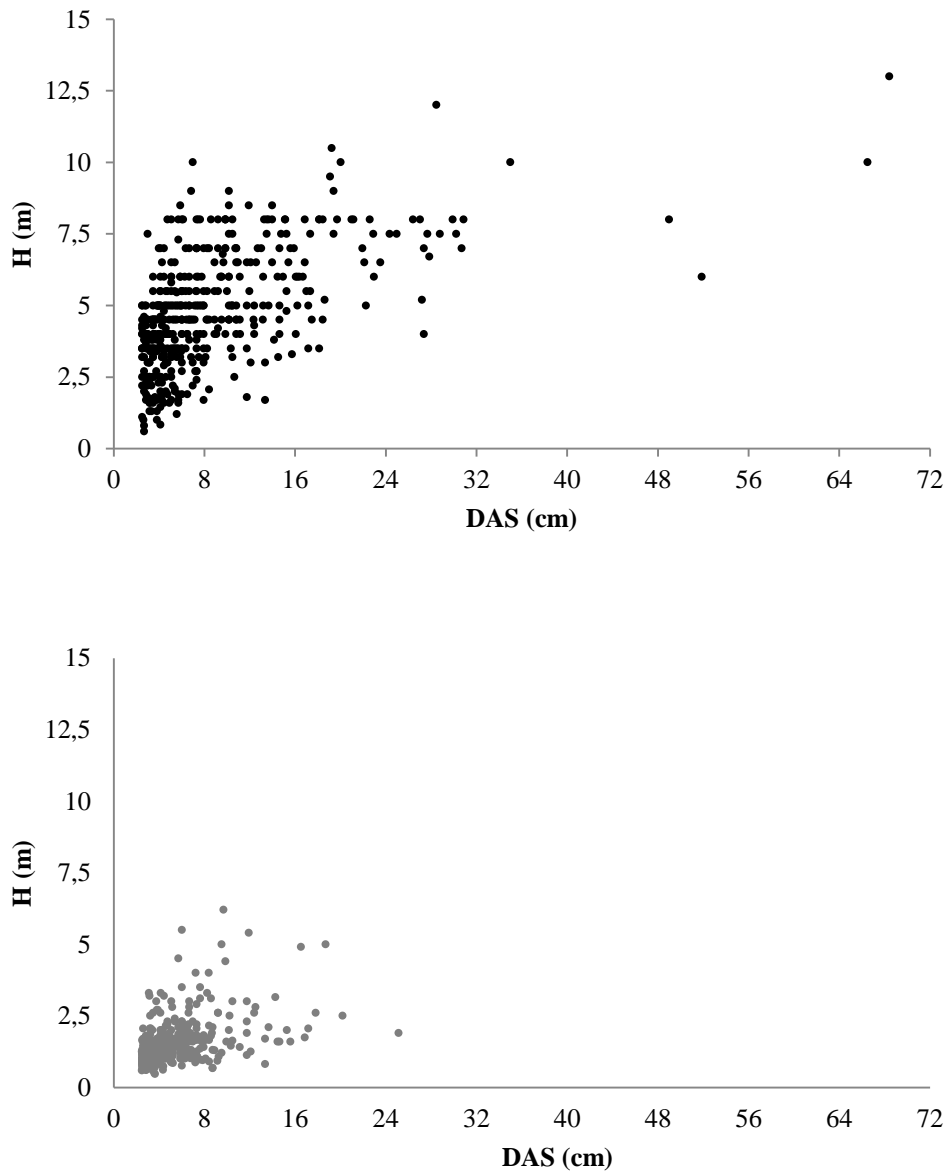


Figura 3. Relação entre Altura total (H) x diâmetro a 30 cm do solo(DAS) dos indivíduos inventariados nas fitofisionomias de Cerrado Denso (acima) e de Cerrado Rupestre (abaixo) no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil.

O carbono estocado na biomassa lenhosa aérea viva no CD variou entre 6,034 Mg ha⁻¹ e 27,21 Mg ha⁻¹, enquanto no CR apresentou valores entre 3,18 Mg ha⁻¹ e 7,93 Mg ha⁻¹ para o EC nesse estrato, dependendo da equação utilizada (Figura 4). O desvio padrão foi alto em todas as estimativas (Tabela 2) e não houve diferença significativa

para as estimativas de EC, em conjunto, entre as duas fitofisionomias estudadas (MANOVA particionada; fração [a]: $F(1,17) = 1.83$; $p = 0.21$).

Não houve correlação entre as estimativas de carbono das parcelas inventariadas e a estrutura florística das suas comunidades (LM particionado; fração [a]: $F(1,17) = 2.24$; $p = 0.17$).

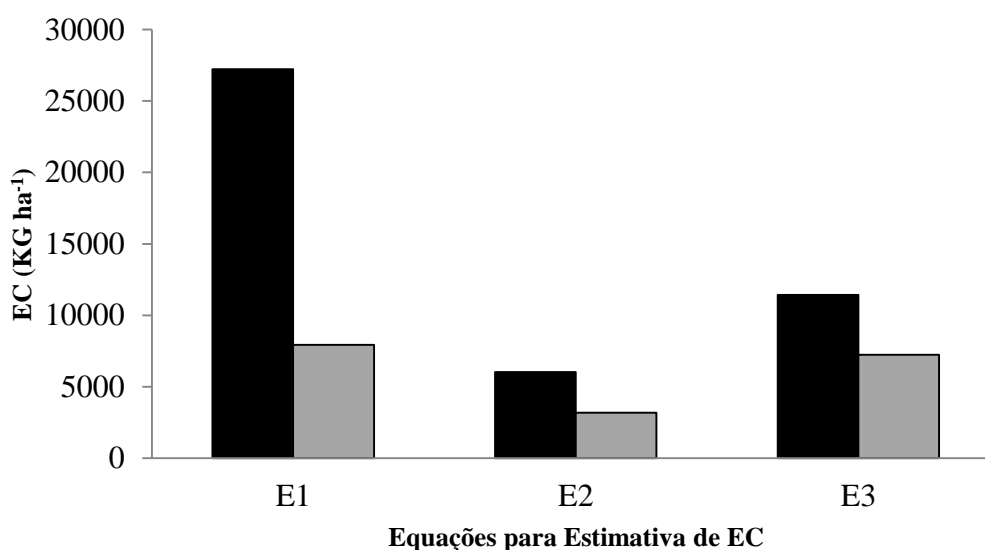


Figura 4. Estimativas de EC (KG ha^{-1}) pelas equações E1, E2 e E3, para o componente aéreo da vegetação lenhosa no Cerrado Denso (barras cinza) e no Cerrado Rupestre (barras cinza), amostrados no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais.

Tabela 2. Valor das estimativas de EC (Mg/ha) para o componente aéreo da vegetação lenhosa pelas equações selecionadas (E1, E2 e E3), para o Cerrado Denso (CD) e Cerrado Rupestre (CR), no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil.

		E1	E2	E3
Média		27212,06	6038,91	11426,60
Desvio padrão	CD	21563,83	2452,86	3827,30
Média		7927,79	3179,87	7227,71
Desvio padrão	CR	5744,05	2194,60	5519,71

DISCUSSÃO

Os valores encontrados para as estimativas de carbono estocado na biomassa aérea lenhosa viva no CD e no CR estão dentro da faixa dos estimados em outros

estudos para o mesmo estrato (Tabela 3). Esperávamos encontrar diferenças significativas para as estimativas de EC na biomassa lenhosa viva entre as fitofisionomias, com maiores valores exibidos pelo CD, uma vez que essas comunidades exibem diferenças na área basal, diâmetro médio e altura média das suas comunidades (ver capítulo I desta dissertação). Contudo, isso não foi verificado. As diferenças nos valores médios dos parâmetros estruturais encontradas por Sarmiento et al. (ver capítulo I desta dissertação) entre o CD e o CR investigados, entretanto, resultam da inclusão de grande quantidade de indivíduos de pequeno porte no CR, uma vez que o único critério naquele inventário fora o diâmetro mínimo de $DAS \geq 1,9$ cm.

A importância da utilização de critérios de corte mais abrangentes para melhor caracterização da vegetação em inventários fitossociológicos já vem sendo discutida (Maracahipes et al. 2011). Da mesma forma, a adoção de critérios menos restritivos nas equações para estimativa de EC provocaria caracterização da vegetação investigada mais acurada. Assim, a diminuição dos limites mínimos causaria a inclusão de grande número de indivíduos, bem como o aumento dos limites máximos permitiria a inclusão de indivíduos com elevada biomassa. Verificamos que as estimativas de EC para CR e CR sofrem efeitos diferentes em relação às alterações nos critérios de corte.

Quando aplicamos o limite mínimo de DAS mais restritivo às equações, verificamos perda no EC de 8,09% no CD e 12,71% no CR, enquanto a aplicação da H mínima mais restritiva não foi suficiente para alterar consideravelmente o resultado de nenhuma das estimativas de EC. Já a aplicação dos limites máximos mais restritivos de DAS provocou perdas de até 64,23% no EC estimado para o CD e 12,40% nas estimativas para o CR, enquanto o efeito da restrição pela H máxima chegou a 75% no CD.

Enquanto o DAS e H mínimos afetaram CD e CR de maneira semelhante, e pouco expressiva, DAS e H máximos alteraram fortemente as estimativas de EC no CD. Portanto, a diminuição no DAS e H mínimos nas equações provocaria pequena aproximação entre os valores estimados e reais de EC, enquanto o aumento de DAS e H máximos poderia refletir melhor as diferenças entre as fitofisionomias, pois haveria melhor caracterização do CD.

Tabela 3. Estimativas de EC para o Cerrado *sensu stricto* ou, quando especificado, suas distintas fitofisionomias, em diferentes estudos. Letras iguais para o mesmo local de estudo indicam não haver diferença significativa entre as fitofisionomias ($p \geq 0,05$).

Estudo (Localidade)	Fitofisionomia	Estoque de carbono (Mg ha⁻¹)
Sarmiento et al. 2014	Cerrado Denso	(a) de 6,04 a 27,21
(PARNACIPÓ, MG)	Cerrado Rupestre	(a) de 3,18 a 7,93
Castro e Kauffman 1998	“Cerrado Aberto”	(a) 6,6 ± 1,7
(Distrito Federal)	Cerrado Denso	(b) 12,9 ± 2,5
Paula et al. 1998 (Assis, SP)	“Cerrado”	31,63
Vale et al. 2002 (Distrito Federal)	Cerrado <i>sensu stricto</i>	6,2
Vale e Felfili 2005 (Distrito Federal)	Cerrado <i>sensu stricto</i>	6,2
Rezende et al. 2006 (Distrito Federal)	Cerrado <i>sensu stricto</i>	4,93 ± 0,54
Delitti et al. (Moji-Guaçu, SP)	“Campo Cerrado”	de 8,7 a 9,3
Lopes e Miola 2010	Cerradão	(a) 9,9
(Pará de Minas e Maravilhas, MG)	Cerrado Denso	(a) 3,3
	Cerrado Típico	(a) 3,85
Ribeiro et al. 2011 (Curvelo, MG)	Cerrado <i>sensu stricto</i>	62,97 ± 14,6%
Santana et al. 2013 (Oeste da Bahia)	Cerradão	(a) 11,83
	Cerrado <i>sensu stricto</i>	(b) 8,01

Não encontramos correlação entre a estimativa do EC das parcelas e sua elevada dissimilaridade florística. Parâmetros como estrutura florística, riqueza de espécies e índice de Shannon, estatisticamente diferentes entre CD e CR (ver capítulo I desta dissertação), também não foram refletidos nos resultados das equações. Uma forma de minimizar este viés seria utilizar como variável independente o peso específico da madeira (Fonseca et al. 2012), de forma a melhor representar a alta diversidade β do bioma (Ratter et al. 2003). Contudo, esses dados não existem para todas as espécies inventariadas, o que indica a necessidade de viabilizar sua aplicação e, possivelmente, para muitas outras áreas do Cerrado *sensu stricto*.

Os resultados encontrados, enquanto estimativas, nos permitem fazer algumas considerações sobre as fitofisionomias estudadas. [1] Embora exista grande número de indivíduos de pequeno porte, principalmente no CR, a maior concentração do EC nas maiores classes de diâmetro demonstra a importância, para a mitigação de emissão de CO₂ atmosférico, da preservação dos ambientes bem conservados dessas fitofisionomias. [2] A não distinção entre os valores de carbono estimados implica em possíveis iguais biomassas fotossinteticamente ativas em lenhosas para as duas fitofisionomias e, portanto, semelhante capacidade de absorção deste elemento da atmosfera e de fixação do carbono por essas plantas. Sabe-se que o acúmulo de carbono no solo é função da atividade fotossintética das plantas (Silva et al. 2004). Acreditamos que o CR, por estar em ambiente rochoso e de solo delgado (Ribeiro e Walter 2008), com pouca capacidade de retenção do material fotossintetizado, exporte, então, boa parte de sua produção fotossintética para ambientes próximos, seja por iluviação ou pela ação da gravidade (Benites et al. 2007) ou da macrofauna, principalmente dos artrópodes (Silva et al. 2004). Portanto, também acreditamos que outras comunidades,

estabelecidas nas proximidades desta fitofisionomia se beneficiam do aumento da matéria orgânica do solo promovido pela atividade fotossintética do CR.

CONCLUSÕES

Os semelhantes valores de EC apresentados pelas estimativas realizadas para a vegetação lenhosa sobre o solo no CD – entre 6038,91 Mg ha⁻¹ ($\pm 2452,86$) e 27212,06 Mg ha⁻¹ ($\pm 21563,83$) - e no CR - entre 3179,87 Mg ha⁻¹ ($\pm 2194,60$) e 7927,79 Mg ha⁻¹ ($\pm 5744,05$) - indicam que fitofisionomias desenvolvidas sobre diferentes substratos não só podem possuir igual importância para o balanço do carbono global, mas também podem ser interdependentes em relação ao compartilhamento do carbono fixado. Entretanto, quando os critérios de inclusão das estimativas de EC não permitem a inclusão de indivíduos de grande porte (DAS máximo $\leq 25,0$ cm ou H máxima $\leq 6,7$ m), indivíduos com elevada biomassa são excluídos dos cálculos, subestimando, marcadamente no CD, o resultado das estimativas de EC. Já a não inclusão dos indivíduos de pequeno porte (DAS mínimo $\geq 5,0$ cm ou H mínima $\geq 1,0$ m) exclui um maior número de indivíduos no CR em relação ao CD, mas produz um baixo impacto no EC estimado em ambas as fitofisionomias, uma vez que os indivíduos não considerados possuem baixa biomassa. Além disso, a inexistência de correlação entre estrutura florística e EC aponta para uma possível necessidade de inclusão da densidade específica da madeira como variável independente nas equações que estimam o EC.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa que custeou meu sustento durante o desenvolvimento desse estudo; ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo suporte físico; ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo suporte intelectual; e ao Parque Nacional da Serra do Cipó, incentivo à pesquisa e pelo acolhimento dos pesquisadores envolvidos.

Referências Bibliográficas

- Abreu MF, Pinto JRR, Maracahipes L, Gomes L, Oliveira EA, Marimon BS, Marimon-Junior BH, Farias J, Lenza E. 2012. Influence of edaphic variables on the floristic composition and structure of the tree-shrub vegetation in typical and rocky outcrop cerrado areas in Serra Negra, Goiás State, Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 35:259-272.
- Aduan ER, Vilela MF, Klink CA. 2003. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres – o caso do Cerrado brasileiro. Embrapa Cerrados, Planaltina. 30 p.
- Alves RJV, Kolbek J. 2010. Can campo rupestre vegetation be floristically delimited based on vascular plant genera? *Plant Ecology* 207:67-79.
- Amaral AG, Pereira FFO, Munhoz CBR. 2006. Fitossociologia de uma área de cerrado rupestre na Fazenda Sucupiara, Brasília-DF. *Cerne* 12: 350-359.
- Andrade LAZ, Felfili JM, Violatti L. 2002. Fitossociologia de uma área de cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília-DF. *Acta Botanica Brasilica* 16: 225-240.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161:105–121.
- Assis ACC, Coelho RM, Pinheiro ES, Durigan G. 2011. Water availability determines physiognomic gradient in a area of low- fertility under Cerrado vegetation. *Plant Ecology* 212:1135-1147.
- Batalha MA, Mantovani W, Mesquita Júnior HN. 2001. Vegetation structure in Cerradophysionomies in south-eastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 61:475-483.
- Battle-Bayer L, Batjes NH, Bindraban PS. 2010. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137:47-58.

- Bayer C, Martin-Neto L, Mielniczuk J, Pavinato A, Dieckow J. 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research* 86:237-245.
- Becknell JM, Kucek LK, Powers JS. 2012. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. *Forest Ecology and Management* 276:88-95.
- Benites VM, Schaefer CEGR, Simas FNB, Santos HG. 2007. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica* 30 (4):569-577.
- Begossi A, Hanazaki N, Peroni N. 2000. Knowledge and use of biodiversity in Brazilian hot spots. *Environment, Development and Sustainability* 2:177-193.
- Borcard D, Gillett F, Legendre P. 2011. *Numerical Ecology with R*. 1st ed., Springer, New York. 305 p.
- Browning BL. 1963. *The chemistry of wood*. Interscience Publishers, London. 689 p.
- Brose U, Martinez ND, Williams RJ. 2003. Estimating species richness: sensitivity to sample coverage and insensitivity to spatial patterns. *Ecology* 84:2364-2377.
- BROWN S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*. United Nations Rome: Food and Agriculture Organization (FAO). Forestry Paper 82 p. <http://www.fao.org/docrep/W4095E/W4095E00.htm> (accessed 27 Feb 2014).
- Carvalho FA, Rodrigues VHP, Kilca RV, Siqueira AS, Araújo GM, Costa IS. 2008. Composição florística, riqueza e diversidade de um Cerrado *sensu stricto* no sudeste do Estado de Goiás. *Bioscience Journal* 24:64-72.
- Carvalho MV, de Marco Júnior P, Ferreira LG. 2009. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation* 142:1392-1403.
- Carvalho JLN, Avanzi JC, Silva MLN, Mello CR, Cerri CEP. 2010. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34:277-289.

- Castro EA, Kauffman B. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14:263-283.
- Colwell RK. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples.
- Costa IR, Araújo FS, Lima-Verde LW. 2004. Flora e aspectos autoecológicos de um enclave de cerrado na chapada do Araripe, Nordeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 18:759-770.
- Costa FV, Oliveira KN, Nunes YRF, Menino GCO, Brandão DO, Araújo LS, Miranda WO, D'Ângelo Neto S. 2010. Florística e estrutura da comunidade arbórea de duas áreas de cerrado sentido restrito no norte de Minas Gerais. *Cerne* 16:267-281.
- Coutinho LM. 1978. O conceito de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 1:17-23.
- Crutzen JC. 2002. Geology of mankind. *Nature*. 415(3):23.
- Delitti WBC, Meguro M, Pausas JG. 2006. Biomass and mineralmass estimates in a "Cerrado" ecosystem. *Revista Brasileira de Botânica* 29:531-540.
- Diniz-Filho JAF, Bini LM, Hawkins BA. 2003. Spatial Autocorrelation and Red Herrings in Geographical Ecology. *Global Ecology and Biogeography* 12:53-64.
- Diniz-Filho JAF, Siqueira T, Padiál AA, Rangel TF, Landeiro VL, Bini LM. 2012. Spatial autocorrelation analysis allows disentangling the balance between neutral and niche processes in metacommunities. *Oikos* 121:201-210.
- Dray S, Legendre P, Peres-Neto PR. 2006. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). *Ecological Modelling* 196:483-493.
- Dufrêne M, Legendre P. 1997. Species assemblages and Indicator Species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345-366.

Durigan G. 2003. Métodos para análise de vegetação arbórea. *In* Métodos de estudos em Biologia da Conservação & Manejo da Vida Silvestre. Editora da UFPR, Curitiba, p. 455-480.

Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38:201-341.

Eisenlohr PV, Meyer L, Rezende VL, Sarmiento CD, Mota TJR, Garcia LC, Melo MMFR. 2013. Trilhas e seu papel ecológico: o que temos aprendido e quais as perspectivas para a restauração de ecossistemas?. *Hoehnea* 40:407-418.

EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2nd ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. 212 p.

FAPESP. 2006. 4º Relatório Temático do Projeto “Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes” (FAPESP 1999/09635-0). <http://www.lerf.esalq.usp.br/old/parcelas/relatorio2005/parteVIII.pdf> (accessed 27 Feb 2014).

Fearnside PM. 2000. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change* 46:115-158.

Felfili MC, Felfili JM. 2001. Diversidade alfa e beta no Cerrado *sensu stricto* da Chapada Pratinha, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 15:243-254.

Felfili JM, Fagg CW. 2007. Floristic composition, diversity and structure of the “cerrado” *sensu stricto* on rocky soils in northern Goiás and southern Tocantins, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 30:375-385.

Fidelis AT, Godoy SAP. 2003. Estrutura de um Cerrado *strico sensu* na gleba Cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro, SP. *Acta Botanica Brasilica* 17:531-539.

Filippo DC. 2013. Compreendendo a relação das pessoas com as áreas naturais da Serra do Cipó (MG) em meio às transformações do espaço. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Nazaré Paulista. 142 p.

Fonseca MS, Silva Júnior MC. 2004. Fitossociologia e similaridade florística entre trechos de Cerrado sentido restrito em interflúvio e em vale no Jardim Botânico de Brasília, DF. *Acta Botanica Brasilica* 18:19-29.

Fonseca W, Alice, FE Rey-Benayas JM. 2012. Carbon accumulation in aboveground and belowground biomass and soil of different age native forest plantations in the humid tropical lowlands of Costa Rica. *New Forests* 43:197-211.

Foody GM, Palubinskas G, Lucas RM, Curran PJ, Honzak M. 1996. Identifying Terrestrial Carbon Sinks: Classification of Successional Stages in Regenerating Tropical Forest from Landsat TM Data. *Remote Sense Environment* 55:205-216.

Giácomo RG, Carvalho DC, Pereira MG, Souza AB, Gai TD. 2013. Florística e fitossociologia em áreas de Campo Sujo e Cerrado *sensu stricto* na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG. *Ciência Florestal* 23: 29-43.

GomesL, Lenza E, Maracahipes L, Marimon BS, Oliveira EA. 2011. Comparações florísticas e estruturais entre duas comunidades lenhosas de cerrado típico e cerrado rupestre, Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 25: 865-875.

GOOGLE EARTH (2008), KML Gallery: Explore the Earth on Google <http://earth.google.com/gallery/index.html> (accessed 2014Feb 27).

GPS TrackMaker@<http://www.trackmaker.com/index.php?lang=port> (accessed 2014Feb 27).

Grace J, San Jose J, Meir P, Miranda LS, Montes RA. 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33:387-400.

Hammer Ø. 2001. PAST Version 3.0. Oslo: Natural History Museum, University of Oslo.

Harris LN, Brown S, Hagen SC, Saatchi SS, Petrova S, Salas W, Hansen MC, Potapov PV, Lotsch A. 2012. Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. *Science* 336: 1573-1576.

Howe HF, Smallwood J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 201-228.

ICMBio Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2009. Plano de Manejo - Parque Nacional da Serra do Cipó e Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira – Encartes 1 e 2. http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/parna_serra_do_cipo_pm_encarte1e2.pdf (accessed in 2014 Feb 27).

Imaña-Encinas J, Santana OA, Paula JE, Imaña CR. 2009. Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. *Floresta* 39(1):107-116.

Klink CA, Machado RB. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19:707-713.

Latansio-Aidar SR, Oliveira ACP, Rocha HR, Aidar MPM. 2010. Fitossociologia de um Cerrado denso em área de influência de torre de fluxo de carbono, Pé-de-Gigante, Parque Estadual de Vassununga, SP. *Biota Neotropica* 10:195-207.

Legendre P, Gallagher E. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129:271–280.

Legendre P, Legendre L. 2012. *Numerical Ecology*, 3rd ed., Elsevier Science BV, Amsterdam. 990 p.

Lemos HL, Pinto JRR, Mews HA, Lenza E. 2013. Structure and floristic relationships between Cerrado *sensu stricto* sites on two types of substrate in northern Cerrado, Brazil. *Biota Neotropica* 13:1-12.

Lenthall JC, Bridgewater S, Furley PA. 1999. A phytogeographic analysis of the woody elements of new world savannas. *Edinburgh Journal of Botany* 56:293-305.

Lima TA, Pinto JRR, Lenza E, Pinto, AS 2010. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de cerrado rupestre no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. *Biota Neotropica* 10:160-166.

Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em 27 Feb. 2014

Lopes RB, Miola DTB. 2010. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado. *SynThesis Revista Digital FAPAM* 2:127-143.

Magurran AE. 1998. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton. 192 p.

Magurran AE. 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell, Oxford. 215p.

Maracahipes L, Lenza E, Marimon BS, Oliveira EA, Pinto JRR, Marimon-JuniorBH. 2011. Estrutura e composição florística da vegetação lenhosa em cerrado rupestre na transição Cerrado-Floresta Amazônica, Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotropica* 11:133-141.

Marimon Junior BH, Haridasan M. 2005. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado *sensu stricto* em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19:913-926.

McCune B, Mefford MJ. 2011. PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data. Gleneden Beach: MjM Software.

McCune B, Grace JB. 2002. Nonmetric Multidimensional Scaling. *In* Analysis of Ecological Communities. (McCune B, Grace JB, Urban DL eds.). MJM, Oregon. p.125-142.

Melo AL. 2008. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade?. *Biota Neotropica* 8:21-27.

Mendonça RC, Felfili JM, Walter BMT, Silva-Junior MC, Rezende AV, Filgueiras T S, Nogueira PE. 1998. Flora Vascular do Cerrado. *In*: Cerrado: ambiente e flora (Sano S M, Almeida SP, eds.). EMBRAPA/CPAC, Planaltina, p.289-556.

Mews H.A. 2014. O Cerrado sentido restrito sobre dois substratos no Brasil Central: padrões da flora lenhosa e correlações com variáveis geodafoclimáticas. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPG/EFL. TD. XXX/2014, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 68 p.

Mews EA, Pinto JRR, Eisenlohr PV, Lenza E. 2014. Does size matter? Conservation implications of differing woody population sizes with equivalent occurrence and diversity of species for threatened savanna habitats. *Biodiversity and Conservation* 23: 1119-1131.

- Miles L, Kapos V. 2008. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and forest degradation: Global land-use implications. *Science* 320:1454-1456.
- Miranda SC. 2012. Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado. Universidade de Brasília. Brasília.
- Moreno MIC, Schiavini I, Haridasan M. 2008. Fatores edáficos influenciando na estrutura de fitofisionomias do cerrado. *Caminhos de Geografia* 9:173-194.
- Moura IO, Gomes-Klein VL, Felfili JM, Ferreira HD. 2010. Diversidade e estrutura comunitária de cerrado *sensu stricto* em afloramentos rochosos no Parque Estadual dos Pireneus, Goiás. *Revista Brasileira de Botânica* 33:455-467.
- Mueller-Dombois D, Ellenberg H. 2002. Aims and methods of vegetation ecology. Blackburn Press, Caldwell. 547p.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Oliveira-Filho AT, Ratter JA. 2002. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. *In: The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna* (Oliveira OS, Marquis RJ, eds.). Columbia University Press, New York, p.91-120.
- Oliveras I, Meirelles ST, Hirakuri VL, Freitas CR, Miranda HS, Pivello VR. 2013. Effects of fire regimes on herbaceous biomass and nutrient dynamics in the Brazilian savanna. *International Journal of Wildland Fire* 2:368-380.
- Paiva AO, Faria GE. 2007. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. *Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas* 1:59-65.
- Paiva AO, Rezende AV, Pereira RS. 2011. Estoque de carbono em Cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. *Revista Árvore* 35:527-538.
- Peres-Neto PR, Legendre P, Dray S, Borcard D. 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology* 87:2614-2625.

Peres-Neto PR, Legendre P. 2010. Estimating and controlling for spatial structure in the study of ecological communities. *Global Ecology and Biogeography* 19:174-184.

Pinheiro ES, Durigan G. 2012. Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do cerrado em Assis, SP, Brasil. *Revista Árvore* 36:181-193.

Pinto JRR, Lenza E, Pinto AS. 2009. Composição florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em um cerrado rupestre, Cocalzinho de Goiás, GO. *Revista Brasileira de Botânica* 32:1-10.

Pivello VR, Oliveras I, Miranda HS, Haridasan M, Sato MN, Meirelles ST. 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant Soil* 337: 111-123.

Potter C, Klooster S, Huete A, Genovese V, Bustamante M, Ferreira LG, Oliveira Jr R C, Zepp R . 2009. Terrestrial carbon sinks in the Brazilian Amazon and Cerrado region predicted from MODIS satellite data and ecosystem modeling. *Biogeosciences* 6:937-945.

Pivello VR, Coutinho LM. 1996. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian Cerrados. *Forest Ecology and Management* 87:127-138.

Prado LA, Miziara F, Ferreira ME. 2012. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. *Boletim Goiano de Geografia* 32:151-165.

R Development core Team. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. www.R-project.org

Rapini A, Ribeiro PL, Lambert S, Pirani JR. 2008. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. *Megadiversidade* 4:16-24.

Ratter JA. 1992. Transitions between cerrado and forest vegetation in Brazil. *In* *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries* (Furley PA, Proctor J, Ratter JA, eds.). Chapman and Hall, London, p.417-429.

- Ratter JA, Bridgewater S, Ribeiro JF. 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the wood vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60:57–109.
- Rezende AV, Vale AT, Sanquetta CR, Filho AF, Felfili JM. 2006. Comparação de modelos matemáticos para estima do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um Cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. *Scientia Florestalis* 71:65-76.
- Ribeiro LF, Tabarelli M. 2001. A structural gradient in cerrado vegetation of Brazil: changes in woody plant density, species richness, life history and plant composition. *Journal of Tropical Ecology* 18:775-794.
- Ribeiro JF, Walter BMT 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *In: Cerrado: ecologia e flora.* (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica, p.151-212.
- Ribeiro SC, Fehrmann L, Soares CPB, Jacovine LAG, Kleinn C, Garpar RO. 2011. Above and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management* 262:491-499.
- Rosenberg MS, Anderson CD. 2011. PASSaGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics and Geographic Exegesis. Version 2. *Methods in Ecology and Evolution* 2(3): 229-232.
- Rosolen V, Resende TM, Borges EN, Frare CT, Machado HA. 2012. Impactos da substituição da vegetação original do Cerrado brasileiro em sistemas agrícolas: alteração do carbono orgânico do solo e $\delta^{13}\text{C}$. *Investigaciones Geográficas* 79:39-47.
- Sano EE, Rosa R, Brito JLS, Ferreira GL. 2008. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:153-156.
- Sano EE, Rosa R, Brito JLS, Ferreira LG. 2010. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environ Monit Assess* 166:113-124.
- Santana AO, Imaña-Encinas J, Inácio ESB, Amorim LB, Vilaverde JLJ. 2013. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de Cerrado. *Ciência Florestal* 23:783-794.

Santos TRR, Pinto JRR, Lenza E. 2012a. Floristic relationships of the woody component in rocky outcrops savanna areas in Central Brazil. *Flora* 207:541-550.

Santos TRR, Pinto JRR, Lenza E, Mews HA. 2012b. The tree-shrub vegetation in rocky outcrop savanna areas in Goiás State, Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 35:241-254.

Sharma CM, Gairola S, Baduni NP, Ghildial SK, Suyal S. 2011. Variation in carbon stocks on different slope aspects in seven major forest types of temperate region of Garhwal Himalaya, India. *Journal Bioscience* 36:701-708.

Shepherd GJ. 2011. FITOPAC 2.1.2. Campinas: UNICAMP.

Shiley Domiciano C, de Oliveira, IJ. 2012. Cartografia dos impactos ambientais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO). *Mercator - Revista de Geografia da UFC* 11:179-199.

Silva JE, Resck DVS, Corazza EJ, Vivaldi L. 2004. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:357-363.

Simpson-Júnior PL. 2002. Crescimento e fenologia foliar de espécies lenhosas do cerrado *stricto sensu* submetidas à fertilização. *In: Simposio Ecologia e Biodiversidade do Cerrado*. EMBRAPA, Brasília. 15 P.

Toledo LO, Anjos LHC, Couto WH, Correia JR, Pereira MG, Correia MEF. 2009. Análise multivariada de atributos pedológicos e fitossociológicos aplicada na caracterização de ambientes de Cerrado no norte de Minas Gerais. *Revista Árvore* 33: 957-968.

Vale AT, Fiedler NC, Silva GF. 2002. Avaliação energética da biomassa do Cerrado em função do diâmetro das árvores. *Ciência Florestal* 12:115-126.

Vale AT, Felfili J. 2005. Dry biomass distribution in a Cerrado *sensu stricto* site in central Brazil. *Revista Árvore* 29:661-669.

Walther BA, Moore JL. 2005. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography* 28:815-829.

Wantzen KM, Couto EG, Mund EE, Amorim RSS, Siqueira A, Tielbörger K, Seifan M. 2012. Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 151:70-79.

Zachos FE, Habel JC. 2011. *Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas*. 1st. ed, Springer, Berlin. 546 p.

Apêndice1. Espécies lenhosas amostradas no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil, em fitofisionomias de Cerrado Denso e de Cerrado Rupestre e seus respectivos parâmetros fitossociológicos. N = Número de Indivíduos; NR = Número de Indivíduos Ramificados; DA = Densidade Absoluta (indivíduos.ha⁻¹); DR = Densidade Relativa(%); FA = Frequência Absoluta (%); FR = Frequência Relativa (%); DoA = Dominância Absoluta (m².ha⁻¹);DoR = Dominância Relativa (%); IVI = Índice de Valor de Importância; HMed = Altura Média (m).

Famílias/Espécies	Cerrado Denso										Cerrado Rupestre									
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
Anacardiaceae																				
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	8	3	40,0	1,4	40,0	2,1	0,2	0,9	4,3	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Annonaceae																				
<i>Annona coriacea</i> Mart.	3	0	15,0	0,5	30,0	1,5	0,2	0,9	2,9	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Duguetia furfuracea</i> (A.St.-Hil.) Saff.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,1	0,8	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apocynaceae																				
<i>Aspidospermatomentosum</i> Mart.	4	0	20,0	0,7	20,0	1,0	0,1	0,6	2,3	3,5	2	1	10,0	0,4	10,0	1,3	0,1	2,3	4,0	2,3
<i>Hancorniaspeciosa</i> Gomes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0	15,0	0,6	30,0	3,8	0,0	0,7	5,1	1,9
Araliaceae																				
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin	4	0	20,0	0,7	30,0	1,5	0,1	0,4	2,6	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scheffleravinosa</i> (Cham. &Schltdl.) Frodin&Fiaschi	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,1	0,7	3,5	3	0	15,0	0,6	20,0	2,5	0,0	0,2	3,4	1,0
Asteraceae																				
<i>Eremanthuscrotonoides</i> (DC.) Sch.Bip.	5	0	25,0	0,9	20,0	1,0	0,1	0,3	2,2	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eremanthusglomerulatus</i> Less.	22	1	110,0	3,8	60,0	3,1	1,0	4,6	11,5	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eremanthus seidelii</i> MacLeish & H.Schumach.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	2	80,0	3,5	50,0	6,3	0,1	2,2	12,0	1,5

Apêndice1. Continuação.

Famílias/Espécies	Cerrado Denso										Cerrado Rupestre									
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
<i>Lychnophora rupestris</i> Semir & Leitão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	311	76	1.555,0	67,2	60,0	7,6	1,8	40,4	115,1	1,7
<i>Piptocarpharotundifolia</i> (Less.) Baker	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,2	0,9	4,0	1	1	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,3	1,7	3,5
Bignoniaceae																				
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) BureauexVerl.	3	0	15,0	0,5	30,0	1,5	0,0	0,1	2,2	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calophyllaceae																				
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. &Zucc.	2	0	10,0	0,3	20,0	1,0	0,0	0,0	1,4	2,5	10	0	50,0	2,2	30,0	3,8	0,1	3,3	9,2	2,0
<i>Kielmeyera petiolaris</i> Mart.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0	25,0	1,1	40,0	5,1	0,1	2,3	8,4	4,0
Caryocaraceae																				
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	10	0	50,0	1,7	50,0	2,6	1,5	7,0	11,3	6,0	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,5	2,0	1,8
Celastraceae																				
<i>Plenckia populnea</i> Reissek	9	0	45,0	1,6	50,0	2,6	0,5	2,3	6,5	6,1	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,3	1,8	3,5
Chrysobalanaceae																				
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. &Zucc.) Benth.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0	10,0	0,4	20,0	2,5	0,1	1,8	4,8	1,7
<i>Hirtella gracilipes</i> (Hook.f.) Prance	6	0	30,0	1,0	20,0	1,0	0,3	1,2	3,3	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Licania rigida</i> Benth.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,1	1,3	2,7	2,3
Dilleniaceae																				

Apêndice1. Continuação.

Famílias/Espécies	Cerrado Denso										Cerrado Rupestre									
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,0	1,5	0,6
Erythroxylaceae																				
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	3	140,0	6,0	70,0	8,9	0,5	10,6	25,5	1,8
Fabaceae																				
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,1	0,7	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	8	0	40,0	1,4	40,0	2,1	2,4	11,1	14,6	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	3	1	15,0	0,5	10,0	0,5	0,1	0,7	1,7	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,2	0,9	1,6	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. exHayne	21	2	105,0	3,6	80,0	4,1	3,6	17,1	24,8	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	10	0	50,0	1,7	70,0	3,6	0,5	2,3	7,6	7,5	4	0	20,0	0,9	10,0	1,3	0,0	1,0	3,1	1,7
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	8	0	40,0	1,4	70,0	3,6	0,5	2,4	7,4	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	8	0	40,0	1,4	50,0	2,6	0,3	1,4	5,3	5,4	3	0	15,0	0,6	10,0	1,3	0,0	1,1	3,0	2,4
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,0	0,7	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	2	0	10,0	0,3	20,0	1,0	0,1	0,6	2,0	6,0	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,5	2,0	4,0
<i>Stryphnodendron obovatum</i> Benth.	3	1	15,0	0,5	30,0	1,5	0,2	0,9	3,0	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Apêndice1. Continuação.

Famílias/Espécies	Cerrado Denso										Cerrado Rupestre									
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
Fabaceae esp. 1	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,0	0,7	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lamiaceae																				
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,0	0,7	0,8	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,5	2,0	2,2
<i>Hyptidendron asperrimum</i> (Spreng.) Harley	2	1	10,0	0,3	20,0	1,0	0,0	0,1	1,4	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hyptidendron canum</i> (Pohl ex Benth.) Harley	2	1	10,0	0,3	10,0	0,5	0,0	0,0	0,9	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Loganiaceae																				
<i>Antonia ovata</i> Pohl	65	10	325,0	11,3	50,0	2,6	1,8	8,4	22,3	5,7	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,3	1,8	4,5
<i>Strychnos brasiliensis</i> Mart.	6	0	30,0	1,0	20,0	1,0	0,1	0,4	2,5	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.- Hil.	5	0	25,0	0,9	40,0	2,1	0,3	1,6	4,5	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lythraceae																				
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	3	0	15,0	0,5	10,0	0,5	0,1	0,7	1,7	5,4	7	1	35,0	1,5	20,0	2,5	0,1	3,3	7,3	2,2
Malpighiaceae																				
<i>Banisteriopsis campestris</i> (A. Juss.) Little	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,0	1,5	1,2
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	7	1	35,0	1,2	40,0	2,1	0,4	2,0	5,3	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	2	50,0	2,2	70,0	8,9	0,1	1,7	12,8	1,3
<i>Byrsonima intermedia</i> A. Juss.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,2	1,7	2,1

Apêndice1. Continuação.

Famílias/Espécies	Cerrado Denso											Cerrado Rupestre										
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H			N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A. Juss.	2	0	10,0	0,3	20,0	1,0	0,0	0,1	1,4	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peixotoa cipoana</i> C.E.Anderson	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,0	1,5	1,4		
Melastomataceae																						
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,7	2,2	1,9		
<i>Miconia fallax</i> DC.	3	0	15,0	0,5	10,0	0,5	0,0	0,0	1,1	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	20,0	0,9	10,0	1,3	0,1	1,8	3,9	1,6		
<i>Miconia macrothyrsa</i> Benth.	10	1	50,0	1,7	40,0	2,1	0,0	0,2	4,0	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Miconia pepericarpa</i> DC.	3	1	15,0	0,5	20,0	1,0	0,0	0,1	1,6	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Miconia rubiginosa</i> (Bonpl.) DC.	3	0	15,0	0,5	20,0	1,0	0,1	0,3	1,8	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moraceae																						
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	5	0	25,0	0,9	30,0	1,5	0,0	0,1	2,5	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Myrtaceae																						
<i>Campomanesia adamantium</i> (Cambess.) O.Berg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,1	1,6	1,1		
<i>Campomanesiaguaviroba</i> (DC.) Kiaersk.	8	2	40,0	1,4	40,0	2,1	0,2	1,0	4,4	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Campomanesia rufa</i> (O.Berg) Nied.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,0	0,7	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eugenia aurata</i> O.Berg	6	1	30,0	1,0	50,0	2,6	0,2	0,9	4,5	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Apêndice1. Continuação.

Famílias/Espécies	Cerrado Denso										Cerrado Rupestre									
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
<i>Eugenia florida</i> DC.	2	0	10,0	0,3	20,0	1,0	0,0	0,1	1,5	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eugenia hyemalis</i> Cambess.	30	1	150,0	5,2	70,0	3,6	0,2	0,8	9,6	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myrcia albotomentosa</i> D.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,1	1,6	1,7
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	5	0	25,0	0,9	30,0	1,5	0,2	0,8	3,2	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myrcia mutabilis</i> (O.Berg) N.Silveira	28	4	140,0	4,9	40,0	2,1	0,2	0,9	7,8	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myrcia rubella</i> Cambess.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,0	1,5	1,7
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	2	0	10,0	0,3	10,0	0,5	0,0	0,2	1,1	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myrciaria floribunda</i> (H. West exWilld.) O.Berg	2	0	10,0	0,3	20,0	1,0	0,0	0,1	1,5	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum	3	0	15,0	0,5	10,0	0,5	0,0	0,2	1,2	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Siphoneugena densiflora</i> O.Berg	7	0	35,0	1,2	20,0	1,0	0,1	0,4	2,6	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Myrtaceae sp. 1	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,0	0,7	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nyctaginaceae																				
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0	10,0	0,4	10,0	1,3	0,1	1,9	3,6	2,2
<i>Neea theifera</i> Oerst.	5	0	25,0	0,9	30,0	1,5	0,1	0,5	2,9	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ochnaceae																				
<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Baill.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,1	0,7	1,6	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,3	1,8	1,1

Apêndice1. Continuação.

Famílias/Espécies	Cerrado Denso										Cerrado Rupestre									
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
Opilaceae																				
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. &Hook.f.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,0	0,7	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Primulaceae																				
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	10	1	50,0	1,7	30,0	1,5	0,2	0,7	4,0	3,4	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,2	1,7	1,5
Proteaceae																				
<i>Roupala montana</i> Aubl.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,2	0,8	4,2	9	0	45,0	1,9	30,0	3,8	0,1	1,4	7,2	2,3
Rubiaceae																				
<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	4	1	20,0	0,7	20,0	1,0	0,0	0,0	1,8	2,9	2	1	10,0	0,4	20,0	2,5	0,0	0,2	3,2	1,1
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	4	0	20,0	0,7	20,0	1,0	0,0	0,2	1,9	1,6	2	0	10,0	0,4	20,0	2,5	0,1	1,8	4,8	4,3
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. &Schltdl.) K.Schum.	8	0	40,0	1,4	30,0	1,5	0,2	1,0	3,9	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sapindaceae																				
Sapindaceaes. 1	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,0	0,7	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sapotaceae																				
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,1	0,3	1,0	8,0	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,3	1,8	2,3
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	9	2	45,0	1,6	40,0	2,1	1,8	8,4	12,0	7,6	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,1	1,6	3,3
Siparunaceae																				

Apêndice1. Continuação.

Famílias/Espécies	Cerrado Denso											Cerrado Rupestre									
	N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H		N	NR	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI	H
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	100	12	500,0	17,4	50,0	2,6	0,5	2,6	22,5	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Symplocaceae																					
<i>Symplocos nitens</i> (Pohl) Benth.	4	0	20,0	0,7	20,0	1,0	0,4	2,0	3,8	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vochysiaceae																					
<i>Qualea cordata</i> (Mart.) Spreng.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	0	20,0	0,9	20,0	2,5	0,1	1,3	4,7	2,0	
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	40	5	200,0	6,9	80,0	4,1	0,9	4,3	15,3	3,5	1	0	5,0	0,2	10,0	1,3	0,0	0,1	1,6	2,7	
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	25	1	125,0	4,3	60,0	3,1	0,7	3,2	10,6	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	2	0	10,0	0,3	20,0	1,0	0,2	0,7	2,1	5,0	13	4	65,0	2,8	20,0	2,5	0,4	9,3	14,6	2,1	
<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,2	0,9	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0	15,0	0,6	20,0	2,5	0,2	5,5	8,7	2,9	
Sp. 1	1	0	5,0	0,2	10,0	0,5	0,0	0,1	0,8	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	576		2.880	100	1.950	100	21	100	300		463		2.315	100	790	100	4	100	300		

Apêndice2. Espécies Indicadoras (Dufrene e Legendre, 1997) da vegetação lenhosa nas fitofisionomias de Cerrado Denso (CD) e de Cerrado Rupestre (CR), no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil. VI = Valor Indicador (%); p = significância obtida pelo teste de Monte Carlo (999 permutações).

Espécie	Família	Fitofisionomia	VI	p
<i>Qualea grandiflora</i>	Vochysiaceae	CD	71,1	0,010
<i>Machaerium opacum</i>	Fabaceae	CD	70,0	0,004
<i>Eugenia hyemalis</i>	Myrtaceae	CD	70,0	0,004
<i>Leptolobium dasycarpum</i>	Fabaceae	CD	61,2	0,018
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	Asteraceae	CD	60,0	0,014
<i>Qualea multiflora</i>	Vochysiaceae	CD	60,0	0,009
<i>Eugenia aurata</i>	Myrtaceae	CD	50,0	0,032
<i>Siparuna guianensis</i>	Siparunaceae	CD	50,0	0,023
<i>Erythroxylum suberosum</i>	Erythroxylaceae	CR	70,0	0,005
<i>Byrsonimacrassifolia</i>	Malpighiaceae	CR	70,0	0,004
<i>Lychnophorarupestris</i>	Asteraceae	CR	60,0	0,012
<i>Eremanthusseidelii</i>	Asteraceae	CR	50,0	0,037