

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

EFEITOS DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES EM ESPÉCIES ARBÓREAS E HERBÁCEAS
DE CERRADO

KLÉCIA GILI MASSI

BRASÍLIA, DF
ABRIL, 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

EFEITOS DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES EM ESPÉCIES ARBÓREAS E HERBÁCEAS
DE CERRADO

KLÉCIA GILI MASSI

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Ecologia, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Doutor em Ecologia.

ORIENTADOR: AUGUSTO CÉSAR FRANCO

BRASÍLIA, DF
ABRIL, 2014


Tese de Doutorado


KLÉCIA GILI MASSI

Título:


“Efeitos da adição de nutrientes em espécies arbóreas e herbáceas de cerrado”.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Augusto César Franco
Presidente
BOT/UnB


Prof. Dra. Heloisa Sinatora Miranda
Membro Titular
ECL/UnB


Prof. Dra. Gabriela Bielefeld Nardoto
Membro Titular
FUP/UnB


Prof. Dra. Alessandra Tomaselli Fidelis
Membro Titular
UNESP


Prof. Dra. Edivani Villaron Franceschinelli
Membro Titular
UFG

Prof. Dr. John Du Vall Hay
Suplente
ECL/UnB

Brasília, 11 de abril de 2014.

“Nesses campos, tão diversos pelo matiz das cores, o capim crescido e ressecado pelo ardor do Sol transforma-se em vicejante tapete de relva, quando lavra o incêndio...

Soprem então as auras com mais força, e de mil pontos, a um tempo, rebentam sôfregas labaredas que se enroscam umas nas outras, de súbito se dividem, deslizam, lambem vastas superfícies, despedem ao céu rolos de negrejante fumo e voam, roncando pelos matagais de tabocas e taquaras, até esbarrarem de encontro a alguma margem de rio que não possam transpor...

Acalmado aquele ímpeto por falta de alimento, fica tudo debaixo de espessa camada de cinzas...

A incineração é completa...

É cair, porém, daí a dias copiosa chuva, e parece que uma varinha de fada andou por aqueles sombrios recantos a traçar às pressas jardins encantados e nunca vistos. Entra tudo num trabalho íntimo de espantosa atividade. Transborda a vida. Não há ponto em que não brote o capim, em que não desabrochem rebentões com o olhar sôfrego de quem espreita azada ocasião para buscar a liberdade, despedaçando as prisões de penosa clausura.

Àquela instantânea ressurreição nada, nada pode pôr peias.

Basta uma noite, para que a formosa alfombra verde, verde-claro, verde-gaio, acetinado, cubra todas as tristezas de há pouco. Aprimoram-se depois os esforços; rompem as flores do campo que desabotoam às carícias da brisa as delicadas corolas e lhe entregam as primícias dos seus cândidos perfumes.”

Visconde de Taunay

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Brasília, por tanto ter me proporcionado! Aqui eu não aprendi apenas a ecologia do Cerrado, eu aprendi a ser mais consciente. E à cidade de Brasília que me humanizou com seu comunismo.

Aos professores do PPG-Ecologia, especialmente: Heloísa, Mercedes, Pacheco, Suji, Mário, Ivone, Emerson e Daniel Vieira.

À Capes e ao CNPq (processo:140663/2012-6) pela bolsa de doutorado e à Capes pela bolsa de doutorado sanduíche (processo:17583/12-8).

À Reserva Ecológica do IBGE, pela permissão de realização da pesquisa.

Ao Prof. Mundayatan Haridasan, pela ajuda, orientação, preocupação, atenção e respeito com que sempre me tratou.

Ao Prof. William Hoffmann, por ter me recebido e orientado durante o doutorado sanduíche na North Carolina State University e aos companheiros de laboratório.

Ao Prof. Augusto Franco, que me ajudou muito na fase final desse trabalho.

Ao Chesterton Ulysses, sem o qual o segundo capítulo dessa tese não existiria. Obrigada!

Ao Felipe Räder, meu ajudante por um tempo, e à Felícia Viana, que perseverou e é até hoje a minha companheira de campo, além disso são os dois queridos amigos.

Aos meus amigos: Aelton, Isadora, Nataly, Gabriel, Lucas, Morgana, Davis (Pantoja e Rossato), Celina, André, Érica, Dannyel, Daniel, Victor, Samuel, Amanda, Marília, Lorenzo, Michael, Brad, Pamela e Scott. Com eles tudo foi mais divertido!

À Mônica e Marina Cangiano e aos Jovens Mais, que me acolheram com tanto carinho!

À minha vó Marta, que todo ano veio cuidar um pouquinho de mim!

Aos meus pais, que me ensinaram a andar, cair e levantar.

Ao Cerrado, por existir.

RESUMO

A natureza distrófica dos solos, combinada à estacionalidade climática e aos efeitos de queimadas intermitentes desempenham um papel importante na composição florística, distribuição, crescimento e reprodução das espécies nativas do Cerrado. Não há concordância na literatura se as comunidades de plantas do Cerrado são limitadas pela disponibilidade de nutrientes e talvez a melhor maneira de examinar esta questão é através de experimentos de adição de nutrientes. Este estudo teve por objetivo comparar o crescimento e reprodução de *Dalbergia miscolobium*, a produção de rebrotas pós-fogo de três espécies arbóreas em uma área de cerrado *sensu stricto* e a riqueza de espécies herbáceas com flores e frutos após o fogo entre áreas fertilizadas e não fertilizadas em um gradiente cerrado-mata de galeria no Distrito Federal. O estudo foi realizado na Reserva Ecológica do IBGE. Não houve um aumento no incremento em diâmetro, na produção de frutos, na massa de sementes e na biomassa das plântulas de *D. miscolobium* em resposta ao aumento na disponibilidade de nutrientes minerais. A espécie estudada parece estar adaptada à baixa qualidade nutricional dos solos do Cerrado. No que se refere à rebrota pós-fogo, a adição de nutrientes não promoveu aumento no número de rebrotas basais e na intensidade de rebrotas aéreas. *Guapira noxia* teve o maior nível de dano comparado com os das outras duas espécies e rebrotou principalmente a partir da base, já em *Dalbergia miscolobium* e *Eriotheca pubescens* o lançamento de novas folhas foi a resposta de recuperação pós-fogo. Ao longo dos 16 meses de acompanhamento após uma queimada foram registradas 189 espécies herbáceas com flores ou frutos no gradiente de cerrado *sensu stricto*-mata de galeria. As parcelas controle de cerrado foram mais ricas em espécies do que as parcelas sujeitas à fertilização. Forte diminuição de espécies herbáceas foi observada acompanhando o gradiente cerrado-mata de galeria, que está em conformidade com o padrão natural de transição entre esses ambientes. Este estudo concluiu que a resposta à adição de nutrientes varia entre os componentes herbáceo-subarbusivo e arbustivo arbóreo e, portanto, mudanças na disponibilidade de nutrientes podem levar a importantes consequências para a estrutura e diversidade dessa savana.

Palavras-chave: fogo, fertilização, componentes rasteiro e lenhoso.

ABSTRACT

Distrophic soils, climatic seasonality and fire together play an important role on the floristic composition, distribution, growth and reproduction of Cerrado species. There is no agreement in the literature that Cerrado plants are nutrients-limited and the best way to test such limitation is through nutrient-addition experiments. The aim of this study was to compare the growing and reproduction of *Dalbergia miscolobium* trees, the sprouting response of three woody species in a cerrado *sensu stricto* area and the herbaceous species richness flowering and fruiting in fertilized and non-fertilized cerrado plots in the cerrado-gallery forest boundary in Distrito Federal. The study was conducted in the Ecological Reserve of IBGE. Nutrient addition did not result in an increase in diameter increment, fruit-production, seed-mass and seedling biomass of *D. miscolobium*. This species seems adapted to the poor soil conditions of Cerrado. Relating to sprouting, nutrient addition did not result in an increase in number of basal sprouts and intensity of aerial sprouts. *Guapira noxia* had the highest damage level and sprouted from basal buds; while the post-fire response of *Dalbergia miscolobium* and *Eriotheca pubescens* was flushing. During 16 months post-fire inventory there were registered 189 herbaceous species flowering or fruiting. The control savanna plots were richer in species than fertilized plots. Strong diminishing of herbs was observed following the savanna-forest boundary, what it is usual to the natural pattern of these environments. Thus, this study concluded that the response of fertilization varies between herbaceous and woody layer and that changes in nutrients availability can lead to important consequences for structure and diversity of this savanna.

Key-words: fire, fertilization ground and woody components.

SUMÁRIO

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO 1.....	6
ADICÃO DE NUTRIENTES NO SOLO NÃO ESTIMULA A REPRODUÇÃO E O CRESCIMENTO DE INDIVÍDUOS ADULTOS DE <i>DALBERGIA MISCOLOBIUM</i> BENTH. EM UMA ÁREA DE CERRADO.....	6
Resumo.....	6
Abstract.....	7
INTRODUÇÃO	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS.....	17
DISCUSSÃO	20
CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
CAPÍTULO 2.....	31
EFEITOS DO TAMANHO, DANO E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES SOBRE A REBROTA PÓS-FOGO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS DE CERRADO.....	31
Resumo.....	31
Abstract.....	32
INTRODUÇÃO	32
MATERIAL E MÉTODOS.....	36
RESULTADOS.....	42
DISCUSSÃO	48
CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CAPÍTULO 3.....	60
EFEITOS DA ADICÃO DE NUTRIENTES SOBRE A RIQUEZA DE ESPÉCIES DO ESTRATO RASTEIRO NO CERRADO	60
Resumo.....	60
Abstract.....	60
INTRODUÇÃO	61
MATERIAL E MÉTODOS.....	66

RESULTADOS.....	72
DISCUSSÃO	82
CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
CONCLUSÕES GERAIS.....	100

PRÓLOGO

Iniciei meu doutoramento em março de 2010 com o objetivo de analisar o padrão de alocação de recursos em funções reprodutivas e vegetativas em 13 espécies encontradas no estrato arbóreo de uma área de ecótono cerrado *sensu stricto* - mata de galeria, sujeito à adição de nutrientes. A hipótese central deste trabalho era que a adição de nutrientes minerais aumentava o sucesso reprodutivo de espécies do Cerrado e o crescimento em diâmetro das espécies de mata.

O levantamento fenológico quantitativo, iniciado em julho de 2011, era a etapa que indicava a necessidade de coleta de néctar ou de frutos de uma dada espécie em um determinado momento. Assim, a primeira espécie a frutificar foi *Dalbergia miscolobium* (julho de 2011) e com ela pude avaliar se a produção e peso dos frutos e sementes, porcentagem de germinação, sobrevivência e crescimento de plântulas foi maior em plantas submetidas à adubação, quando comparadas às plantas controle. Esses resultados são apresentados no capítulo 1.

Esse projeto continuaria para as outras 12 espécies e ao longo de mais dois anos, não fosse em setembro de 2011 o fogo, que consumiu 95% da reserva onde localiza-se a área do experimento. Todo o projeto e coleta de dados precisaram ser revistos e modificados, pois a literatura afirma que espécies arbóreas não se reproduziram durante um ou dois anos após o fogo. Por outro lado, o gradiente cerrado-mata continuou a ser fertilizado após o fogo seguindo a programação anual de adubação.

O estrato herbáceo foi totalmente consumido pelo fogo, oferecendo uma excelente oportunidade para acompanhar a dinâmica de recuperação dessa comunidade após o fogo e a influência do aumento da disponibilidade de nutrientes nesse processo. O estrato arbóreo, que foi parcialmente queimado, proporcionou a chance de observar a rebrota de algumas espécies lenhosas e os efeitos da adição de nutrientes na produção dessas rebrotas.

Assim, iniciou-se a coleta de dados para as espécies arbóreas, objetivando verificar como a adição de nutrientes, altura e diâmetro dos indivíduos e severidade do dano causada pelo fogo influenciaram o número e o tipo de

rebrotas de três espécies arbóreas, resultados esses encontrados no capítulo 2. Simultaneamente foram coletados os dados de riqueza de espécies herbáceas pós fogo e durante um ano e meio, com os objetivos de: verificar se a riqueza de plantas herbáceas recolonizando a área era maior nas áreas controle do que nas áreas fertilizadas e observar se existia um gradiente de diminuição da riqueza de espécies herbáceas acompanhando o gradiente cerrado-mata de galeria. Esses resultados são apresentados no capítulo 3.

Como os capítulos são independentes, repetições tornaram-se inevitáveis. E uma vez que este trabalho trata de diferentes efeitos da adição de nutrientes sobre espécies arbóreas e herbáceas do Cerrado, é importante uma pequena introdução sobre esse bioma.

Os ecossistemas savânicos e campestres em regiões tropicais ocorrem principalmente na África, sendo também encontrados na Austrália, América do Sul e no sul da Ásia (Whittaker, 1975). Na América do Sul, a savana brasileira (Cerrado: ver Walter et al., 2008, para a discussão sobre o Cerrado ser ou não uma savana) ocupou originalmente 23% do território brasileiro, com uma área core no planalto central e áreas disjuntas, tais como no sudeste do país e na Amazônia (Ratter et al., 1997). A riqueza e a dominância de plantas variam grandemente em diferentes áreas de Cerrado (Ratter et al., 2003; Felfili et al., 2008) o que pode ser influenciado por fatores climáticos, herbivoria, características edáficas e incidência de queimadas (Coutinho, 1990).

Além da heterogeneidade florística, este bioma apresenta grande variação fisionômica, indo de uma fisionomia campestre (campo limpo) a uma florestal (cerradão), passando por fisionomias savânicas (campo sujo, campo cerrado e cerrado *sensu stricto*) (Coutinho, 1978). Dois estratos compõem esta formação vegetal, o arbustivo-arbóreo e o herbáceo-subarbustivo (Rizzini, 1976). Enquanto a importância do componente arbustivo-arbóreo aumenta do campo limpo ao cerradão, a do componente herbáceo-subarbustivo diminui (Coutinho, 1978, 1982). O estrato arbustivo-arbóreo caracteriza-se por árvores, arvoretas e arbustos de tronco baixo, inclinados e tortuosos; pelas cascas grossas; por emitirem facilmente ramos aéreos, provenientes de órgãos subterrâneos, quando decapitadas ou queimadas; por apresentarem troncos múltiplos, oriundos da rebrotação e pela folhagem esclerófila (Rizzini, 1976; Hoffmann et al., 2012). O

estrato herbáceo-subarbusivo consiste de formas de vida não arbóreas, perenes em maioria, intolerantes à sombra e com um extenso sistema subterrâneo. Muitas são dotadas de estruturas subterrâneas à partir das quais rebrotam após a seca severa ou queima (Filgueiras, 2002).

O Cerrado ocorre geralmente em solos de baixa fertilidade, profundos, ácidos, bem drenados os quais, com poucas exceções, são latossolos, arenosos ou argilosos (Eiten, 1982; Haridasan, 2008). O regime sazonal do Cerrado é equivalente ao tipo climático Aw (Köppen), ou seja, com uma estação chuvosa, que se inicia entre os meses de setembro e outubro e que vai até março ou abril, e uma estação seca entre os meses de maio a setembro, caracterizada por deficiência hídrica nas camadas superiores do solo e pela pluviosidade baixa ou ausente (Silva et al., 2008). No Cerrado aliado à sazonalidade das chuvas e a pobreza em nutrientes dos solos, o fogo é considerado determinante da vegetação do Cerrado (Coutinho, 1982; Miranda et al., 2002; Walter & Ribeiro, 2010).

Devido à sua grande extensão, heterogeneidade ambiental e proximidade a outros biomas, o Cerrado possui uma rica biodiversidade vegetal (o Cerrado é um dos *hotspots* segundo Myers et al., 2000), até agora apenas parcialmente conhecida, mas extensivamente ameaçada pela elevada conversão de suas áreas para usos agrícola e pecuário (Klink & Machado, 2005; Silva et al., 2006) que resultou em um bioma fragmentado em que poucas são as unidades de conservação onde o Cerrado é o bioma dominante (www.icmbio.gov.br).

Portanto, é na esperança de aumentar o conhecimento e possibilitar que tais informações ajudem na conservação e manejo do bioma Cerrado que este trabalho foi feito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coutinho, L.M. 1978. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 1:17-23.
- Coutinho, L.M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (Eds.) *Ecology of tropical savanas*. Springer, Berlin. pp.273-291.

- Coutinho, L.M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G. (Ed.) Fire in the tropical biota. Springer, Berlin. pp.81-105.
- Eiten, G. 1982. Brazilian savannas. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (Eds). Ecology of tropical savannas. Springer, Berlin. pp.25-47.
- Felfili, J.M.; Felfili, M.C.; Nogueira, P.E.; Armas, J.F.S.; Farinas, M.R.; Nunes, M.; Silva Júnior, M.C.; Rezende, A.B. & Fagg, C.W. 2008. Padrões Fitogeográficos e sua relação com sistemas de terra no bioma cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Eds.) Cerrado – Ecologia e Flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. pp.213-228.
- Filgueiras, T.S. 2002. Herbaceous plant communities. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (Eds.) The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. Columbia University Press, New York. pp.121–139.
- Haridasan, M. 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 20:183-195.
- Hoffmann, W.A.; Geiger, E.L.; Gotsch, C.G.; Rossatto, D.R.; Silva, L.R.; Lau, O.L.; Haridasan, M. & Franco, A.C. 2012. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters* 15:759–768.
- Klink, C.A. & Machado, R.B. 2005. Conservation of the Brazilian cerrado. *Conservation Biology* 19(3):707-713.
- Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C. & Miranda, A.C. 2002. The fire factor. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (Eds.) The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. Columbia University Press, New York. pp:51–68.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Ratter, J.A.; Ribeiro, J.F. & Bridgewater, S. 1997. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany* 80:223-230.
- Ratter, J.A.; Bridgewater, S. & Ribeiro, J.F. 2003. An analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60:57- 109.
- Rizzini, C.T. 1976. Tratado de fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Âmbito Cultural, Rio de Janeiro.

- Silva, F.A.M.; Assad, E.D. & Evangelista, B.A. 2008. Caracterização climática do bioma cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Eds.) Cerrado – Ecologia e Flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.pp.71-88.
- Silva, J.F.; Fariñas, M.R.; Felfili, J.M. & Klink, C.A. 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography* 33:536–548.
- Walter, B.M.T.; Carvalho, A.M. & Ribeiro, J.F. 2008. O conceito de savana e de seu componente cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Eds.) Cerrado – Ecologia e Flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.pp.19-46.
- Walter, B.M.T. & Ribeiro, J.F.2010. Diversidade fitofisionômica e o papel do fogo no bioma cerrado.. In: Miranda, H.S (Ed.) Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: projeto de fogo. Ibama, Brasília. pp:59-76.
- Whittaker, R.H. 1975. *Communities and Ecosystems*. Macmillan Publishing Co., New York.

CAPÍTULO 1

ADIÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO NÃO ESTIMULA A REPRODUÇÃO E O CRESCIMENTO DE INDIVÍDUOS ADULTOS DE *DALBERGIA MISCOLOBIUM* BENTH. EM UMA ÁREA DE CERRADO

Resumo

A natureza distrófica dos solos, combinada à estacionalidade climática e aos efeitos de queimadas desempenham um papel importante na composição florística, distribuição, crescimento e reprodução das espécies nativas do Cerrado. Não há concordância na literatura se as comunidades de plantas do Cerrado são limitadas pela disponibilidade de nutrientes e talvez a melhor maneira de examinar esta questão é através de experimentos de adição de nutrientes. Este estudo teve por objetivo comparar o incremento em diâmetro, produção de frutos, massa de frutos e sementes, germinação de sementes e comprimento e biomassa das plântulas da espécie arbórea *Dalbergia miscolobium* entre áreas fertilizadas e não fertilizadas de cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal. O estudo foi realizado na Reserva Ecológica do IBGE. Não houve um aumento no incremento em diâmetro, na produção de frutos, na massa de sementes e na biomassa das plântulas de *D. miscolobium* em resposta ao aumento na disponibilidade de nutrientes minerais no solo. A massa dos frutos e a porcentagem de germinação de sementes foram menores em resposta à fertilização; já o comprimento radicular foi maior em plântulas originárias de sementes das áreas fertilizadas. Plantas adaptadas a solos pobres em nutrientes (tais como a espécie estudada) possuem estratégias que podem garantir o requerimento nutricional necessário para processos como crescimento e reprodução não respondendo a um aumento na disponibilidade de nutrientes no solo.

Palavras-chave: fertilização, frutificação, espécie lenhosa.

Abstract

Distrophic soils, climatic seasonality and fire together play an important role on the floristic composition, distribution, growth and reproduction of Cerrado species. There is no agreement in the literature that Cerrado plants are nutrients-limited and the best way to test such limitation is through nutrient-addition experiments. The aim of this study was to compare diameter increment, fruit-production, fruit- and seed-mass, germination, seedling length and biomass of *Dalbergia miscolobium* trees growing in fertilized and non-fertilized cerrado *sensu stricto* plots in the Ecological Reserve of IBGE near Brasília, Brazil. Nutrient addition did not result in an increase in diameter increment, fruit-production, seed-mass and seedling biomass of *D. miscolobium*. Fruit mass and seed germination were lower in fertilized plants; root length was higher in seedlings from fertilized seeds. Plants adapted to nutrient-poor soils (as the studied species) have strategies that can ensure the nutritional requirement to processes as growth and reproduction and do not respond to an increase in nutrient availability in the soil.

Key-words: fertilization, fruiting, woody species.

INTRODUÇÃO

A natureza distrófica dos solos (Haridasan, 1992), combinada à estacionalidade climática (Eiten, 1982) e aos efeitos de queimadas (Coutinho, 1982) desempenham um papel importante na composição florística, distribuição, crescimento e reprodução das espécies nativas do Cerrado (Hoffmann et al., 2012). Nesse ambiente, as espécies apresentam estratégias de sobrevivência, como a produção de frutos e o crescimento diamétrico orientadas para a estação chuvosa, quando a disponibilidade de recursos é mais alta (Janzen, 1967; Hoffmann, 1998; Hoffmann et al., 2012).

As variáveis ambientais afetando uma espécie foram propostas por Hutchinson (1958), em seu conceito de nicho como um hipervolume multidimensional, como um conjunto de coordenadas com valores limitantes dentro dos quais a espécie pode sobreviver e se reproduzir (Whittaker, 1975). Em ambientes naturais, estima-se que as espécies não vivam dentro da faixa

ótima em relação a determinados fatores e que tal faixa se estreita em indivíduos reprodutivos. No Cerrado, em geral, os solos são latossolos distróficos com alta saturação por alumínio (Haridasan, 1992), condições essas que se associam ao escleromorfismo das espécies nativas (Goodland, 1971). Assim, a fertilidade dos solos do Cerrado pode ser considerada como uma dessas coordenadas com valores limitantes e embora adaptadas à pobreza em nutrientes dos solos (Rizzini, 1976; Ruggiero et al., 2002; Haridasan, 2008), as espécies de Cerrado seriam capazes de responder à maior disponibilidade desses (Villela & Haridasan, 1994, Sasaki & Felipe, 1998, Bucci et al., 2006; Bustamante et al., 2012).

As plantas consistem de um corpo vegetativo que produz carboidratos através da fotossíntese e um corpo reprodutivo, para onde uma parte dos fotossintatos são translocados (Bazzaz et al., 1987; Hirose et al., 2005). Se a disponibilidade de nutrientes minerais no solo não é suficiente para preencher as sementes, elas poderão obtê-lo do corpo vegetativo, que diminui sua atividade fisiológica (Sinclair e de Wit, 1975). Exemplo extremo dos custos envolvidos na reprodução é o de plantas anuais que usam todos os recursos disponíveis para a produção de sementes, resultando em senescência e morte do corpo vegetativo. O processo de diferenciação meristemática, construção das estruturas reprodutivas e preenchimento de frutos e sementes, regulado por mecanismos endógenos (Larcher, 2000), é muito caro energeticamente (Abrahamson & Caswell, 1982; Bawa & Hadley, 1990; Ashman, 1994) e se reflete em *trade-offs* (quantidade de folhas *versus* de estruturas reprodutivas: Bernett et al., 2009; tamanho *versus* quantidade de frutos e sementes: Greenway & Harder, 2007) que variam de espécie para espécie (Lord & Westoby, 2006).

Desse modo, se a disponibilidade de nutrientes minerais limita a reprodução (Chapin, 1980), a adição de nutrientes no solo deve levar a um aumento do sucesso reprodutivo de plantas (Frankie et al., 1974; Haig & Westoby, 1988). Grman & Alexander (2005) encontraram que os recursos maternos podem limitar a produção de frutos na herbácea *Asclepias meadii* em ecossistema de pradaria. O acréscimo no suprimento de nutrientes durante o crescimento da planta-mãe resultou em aumentos na massa das sementes da espécie herbácea *Desmodium paniculatum* em floresta temperada (Wulff, 1986),

da gramínea *Stipa krylovii* em áreas de campo (Ronnenberg et al., 2011) e da espécie arbustiva de deserto *Sarcobatus vermiculatus* (Breen & Richards, 2008). Os poucos estudos conduzidos com espécies arbóreas não permitem extrair padrões gerais, mas as plantas de *Sorbus aucupari* submetidas à adição de nutrientes produziram mais frutos e sementes por árvore quando comparadas às controle (Sperens, 1997). Em área de cerradão, de solo mais rico em nutrientes, a espécie arbórea *Miconia falax* apresentou sementes maiores e mais pesadas, porém em menor número do que em área de solo distrófico (Lomônaco & Reis, 2007).

São comuns as irregularidades no número de indivíduos que se reproduzem, na quantidade de frutos produzidos por indivíduo e na época de frutificação de espécies nativas de Cerrado entre anos. Pirani et al. (2009) observaram algumas espécies sem florescer e/ou frutificar durante dois anos de levantamento em uma área de Cerrado no Mato Grosso. Os fatores associados a tais irregularidades são desconhecidos, mas a limitação nutricional dos solos sob Cerrado pode ser um dos fatores responsáveis, e deve-se observar um aumento na produção de frutos e ausência de plantas sem frutos em áreas sujeitas à solos mais ricos.

Em geral os efeitos maternos podem contribuir ao tamanho da semente e subsequentemente ao sucesso das plântulas (Gross, 1984; Roach & Wulff, 1987; Mólken et al., 2005). O aumento da massa das sementes levou a maiores porcentagens de germinação, sobrevivência e crescimento das plântulas, conforme Nietzsche et al. (2004) observaram para *Eugenia dysenterica*. Lahoreau et al. (2006) encontraram que a probabilidade de sobrevivência de plântulas de espécies arbóreas, incluindo espécies do Cerrado, foi positivamente relacionada à massa das sementes. E Breen & Richards (2008) registraram para *Sarcobatus vermiculatus* que a germinação e o comprimento das plântulas três dias após a germinação foram maiores quando as sementes vieram de plantas enriquecidas nutricionalmente. Assim, plantas submetidas à adubação deverão produzir sementes maiores que tenderão a germinar mais e originar plântulas maiores.

Como já dito, as plantas produzem seus frutos e sementes com materiais orgânicos e minerais que poderiam ser utilizados em órgãos vegetativos (Reekie & Avila-Sakar, 2005). Desse modo, se as plantas não investem os recursos em

reprodução, espera-se que os invistam em processos de crescimento, como Bennett et al. (2009) encontraram para *Sanguinaria canadenses* em floresta temperada. Diversos autores observaram efeitos vegetativos positivos da fertilização, como sobre o crescimento radial de *Pinus sylvestris* (Kytö et al., 1999), ou a biomassa de uma comunidade de plantas lenhosas sobre solos de serpentina (Chiarucci et al., 1999) e a massa seca da parte aérea de *Vernonia herbacea* (Cuzzuol et al., 2003). Todavia, Adamek et al. (2009) estudando três espécies arbóreas de uma floresta tropical não encontraram efeito da adição de nitrogênio sobre o crescimento diamétrico e biomassa acima do solo.

Diversos autores argumentaram que as comunidades de plantas do Cerrado são limitadas pela disponibilidade de nutrientes (Goodland, 1971; Medina, 1986), enquanto outros argumentaram que as plantas estão adaptadas à baixa qualidade nutricional dos solos (Rizzini, 1976; Ruggiero et al., 2002; Haridasan, 2008). A melhor maneira de se testar tal limitação é através de um experimento de adição de nutrientes (DiTommaso & Aarssen, 1989), porque ele permite o controle e padronização dos nutrientes adicionados ao solo. Poucos são os trabalhos que relacionam o crescimento (Villela & Haridasan, 1994; Coradin et al., 2002; Cuzzuol et al., 2003; Bucci et al., 2006), e mais raros são os que relacionam a reprodução, das plantas lenhosas do Cerrado à disponibilidade de nutrientes (Lomônaco & Reis, 2007). O único trabalho realizado com abordagem similar e com a mesma espécie foi o de Sasaki & Felipe (1998), mas os autores observaram unicamente o efeito da adição mineral sobre o crescimento de plântulas e em condições de casa de vegetação. O presente estudo objetivou comparar vários parâmetros (incremento em diâmetro, produção de frutos, massa de frutos e sementes, germinação de sementes e comprimento e biomassa das plântulas) entre indivíduos adultos da espécie arbórea *Dalbergia miscolobium* que estão sob condições de campo e que receberam fertilização nutricional.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A região de estudo (Figura 1) localiza-se em área core de Cerrado e é parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Distrital Gama-Cabeça de Veado que

perfaz, incluindo a Reserva Ecológica do IBGE (RECOR), um total de 10000 ha de área protegida contínua (Ribeiro, 2011). A RECOR está localizada 35 km ao sul do centro de Brasília, com coordenadas de 15°55' a 15°58'S, 47°52' a 47°55'W e altitude variando de 1048 a 1160 m. As fitofisionomias de Cerrado presentes na reserva são: campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e cerradão, em um gradiente crescente de biomassa arbórea. Além disso, apresenta também matas, veredas, brejos e campos úmidos (Ribeiro, 2011). Os solos predominantes são os Latossolos Vermelho-Amarelos, sendo que a área contém ainda significativas porções de Latossolo Vermelho-Escuro (Ribeiro, 2011). A precipitação, umidade relativa e a temperatura média anuais registradas na estação meteorológica do IBGE de 2010-2012 foram 1418 mm, 67% e 22°C, respectivamente (dados disponíveis em www.recor.org.br). O clima é fortemente sazonal, com uma estação seca que se estende de maio a setembro; os meses de junho a agosto são os mais secos (www.recor.org.br), quando as queimadas são frequentes (Figura 2).



Figura 1. Fotografia da área de estudo mostrando a área de transição cerrado *sensu stricto* (mais aberta)–mata de galeria (mais densa) e a localização

aproximada das parcelas (em vermelho). (Escala: 1:18700cm, fonte: GoogleEarth)

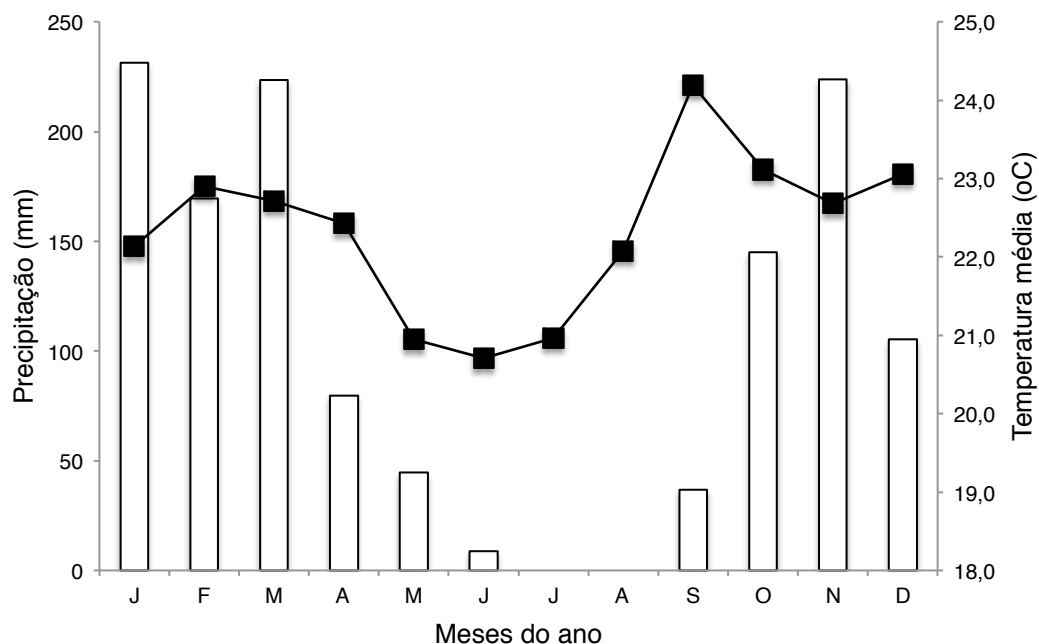


Figura 2. Médias mensais de precipitação (em barras) e temperatura (linha) na Reserva Ecológica do IBGE entre os anos de 2011 a 2013.

Desenho experimental e caracterização do nutrientes no solo

O experimento contou com quatro tratamentos e três replicações. Os tratamentos foram controle, irrigação na época seca, adição de nutrientes e irrigação com adição de nutrientes. Foram demarcadas 12 parcelas de 10 m x 70 m, com bordas de 10 m entre as parcelas, perpendicular à borda da mata-de-galeria, na faixa de transição entre mata-de-galeria e cerrado *sensu stricto*. Cada parcela foi subdividida em sete subparcelas de 10 m x 10 m para fins de amostragem (Figura 3).

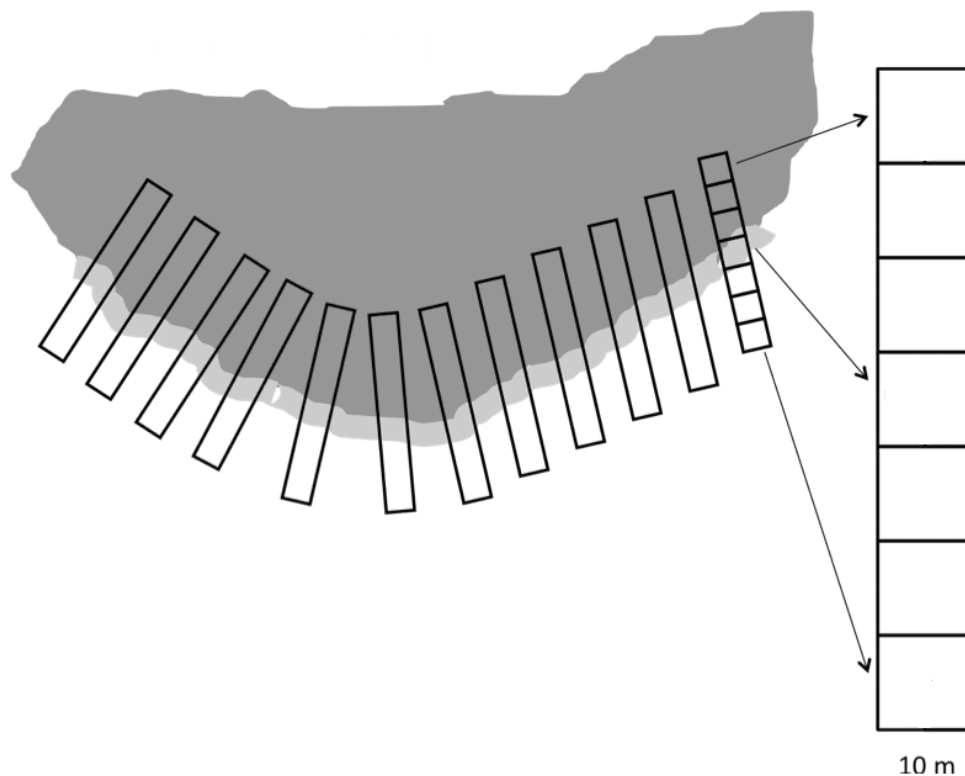


Figura 3. Desenho da área de estudo da transição cerrado-mata de galeria, onde 3 subparcelas de 10x10m por transecto foram estabelecidas em área de cerrado (em branco), 3, em área de mata-de-galeria (em cinza escuro) e 1 foi estabelecida em área de borda (em cinza claro) entre estas duas fitiofisionomias. O experimento conta com quatro tratamentos (controle, fertilização, irrigação na época seca e fertilização e irrigação) e três replicações (por isso, 12 transectos). Adaptado de Geiger et al., 2011.

Quando da demarcação das parcelas a ausência de gramíneas e mudanças na estrutura do estrato arbóreo foram usados para distinguir as áreas de mata-de-galeria e cerrado e para definir a posição da borda (Geiger et al., 2011). A adição de nutrientes ($100 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de N, P e K cada e $18 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de Zn, $6 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de Fe, $4 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de Mn, $3,6 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de B, $2 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de Mo e $1,6 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de Cu, como fertilizante composto granulado) foi feita no início e final da estação chuvosa e a aplicação de calcário dolomítico ($300 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de Ca e Mg) foi feita no início da mesma estação, ambas realizadas desde 2005 e a lanço para assegurar distribuição uniforme dos fertilizantes. Uma queimada ocorrida em 2011 que se estendeu por toda a área amostral e inutilizou o sistema de irrigação, impediu a continuidade da irrigação que se

realizava anualmente durante o período de maio a setembro. Contudo, mesmo após a passagem do fogo as parcelas continuaram a ser adubadas seguindo a programação anual de adubação.

Para este capítulo foram estudadas unicamente as plantas localizadas em subparcelas de cerrado fertilizadas (totalizando nove subparcelas) e em subparcelas de cerrado controle (nove).

Espécie estudada

Dalbergia miscolobium Benth. (Fabaceae) é uma espécie arbórea típica e abundante dos cerrados do Planalto Central (Fonseca & Silva-Júnior, 2004), popularmente conhecida como jacarandá-do-cerrado, cuja distribuição compreende desde o estado do Piauí até o Paraná. Os indivíduos em geral apresentam um comportamento brevidecíduo característico, com caducifolia total e renovação de folhas limitada a duas semanas, geralmente entre agosto e setembro (Lenza & Klink, 2006). Normalmente, floresce ao final da estação chuvosa, passando grande parte da estação seca na fase de formação e amadurecimento dos frutos, que são dispersos pelo vento ao final desta estação (Braz et al., 2009). Em geral cada fruto possui uma única semente, mas há registros de duas sementes por fruto (Sasaki & Felipe, 1999). Dentre as várias famílias que compõem a flora do Cerrado as espécies de Fabaceae se destacam por sua importância dentro da fixação simbiótica de nitrogênio e *Dalbergia miscolobium* é uma das espécies com potencial de nodulação (Cordeiro, 2002).

Foram identificados 20 indivíduos da espécie na área de estudo, sendo que cinco indivíduos estavam presentes nas parcelas fertilizadas (com diâmetros variando de 5,4 a 10 cm) e 15 foram presentes nas parcelas controle (com diâmetros variando de 4,5 a 12,3 cm).

Produção de frutos

A produção de frutos foi quantificada utilizando a avaliação fenológica proposta por Fournier (1974), que permite estimar a intensidade de frutificação em cada indivíduo, pois as vagens amarronzadas, da mesma cor que os galhos e dispostas em cachos tornava a contagem de frutos inviável. A observação visual da presença de frutos foi realizada em todos os indivíduos no mês de julho de

2011 (mês em que a espécie estava dispersando seus frutos), utilizando-se uma escala de cinco categorias: 0, 1, 2, 3 e 4 (sendo 0 = ausência de frutos; 1 = presença de frutos ocupando entre 1% e 25% da copa; 2 = ocupando entre de 26% e 50% da copa; 3 = ocupando entre 51% e 75% da copa e 4 = ocupando entre 76 e 100% da copa da árvore avaliada).

O percentual de intensidade de frutificação da espécie por tratamento foi calculada por:

$$\% \text{ de intensidade} = \frac{((n_0 * 0) + (n_1 * 1) + (n_2 * 2) + (n_3 * 3) + (n_4 * 4))}{(4 * N)} * 100,$$
onde n_0, n_1, n_2, n_3, n_4 são o número de indivíduos observados em cada uma das intensidades; 0, 1, 2, 3, 4 são as intensidades de frutificação e N é o número total de indivíduos observados (Fournier, 1974).

No mesmo mês foram coletados frutos maduros de seis indivíduos distantes no mínimo três metros entre si. Três indivíduos, cada um com 5,4 cm, 5,5 cm e 10,0 cm de diâmetro, estavam localizados nas parcelas adubadas (havia apenas três indivíduos frutificando nessas parcelas) e três indivíduos, cada um com 6,9 cm, 9,3 cm e 12,3 cm de diâmetro, nas parcelas controle. Os frutos foram limpos, descartando sementes que apresentassem injúria mecânica ou fungo. A massa dos frutos e sementes foi determinada e as sementes foram utilizadas para os experimentos de germinação. Foram pesadas 120 sementes (40 sementes/matriz) provenientes das três matrizes localizadas em parcelas não adubadas e 102 sementes (pois um dos indivíduos possuía apenas 22 sementes viáveis) provenientes das três matrizes localizadas em parcelas adubadas.

Germinação, biomassa e crescimento das plântulas

As sementes foram desinfetadas em solução de hipoclorito a 10%, lavadas em água destilada e, em seguida, germinadas em rolo de papel em câmara de crescimento a 25 °C com fotoperíodo de 12 h. Foram feitas quatro repetições com número variável de sementes/matriz, mantendo cada matriz separada pois intencionava-se compará-las, o que não foi feito. As observações de germinação foram diárias e o critério de germinação adotado foi a protrusão de radícula maior que 2 mm. Foi calculado o tempo médio e a porcentagem de germinação de acordo com Labouriau (1983).

Conforme as sementes germinavam, foram plantadas em bandeja com vermiculita e foram mantidas em sala de crescimento no Laboratório de Alelopatia do Departamento de Botânica da Universidade de Brasília (o intervalo de tempo entre a primeira e a última semente a germinar foi de apenas duas semanas). Cada bandeja correspondia a uma matriz com número variável de sementes. As regas ocorreram a cada dois dias e ao final de 30 dias do último plantio todas as plântulas foram separadas em parte aérea e radicular (acima e abaixo do cotilédone, respectivamente), medidas (em comprimento) e após secas em estufa, pesadas (Figura 4 a e b). O período de tempo de 30 dias refere-se ao período de maior dependência de plântulas dessa espécie das reservas armazenadas no cotilédone (Sasaki & Felipe, 1998).

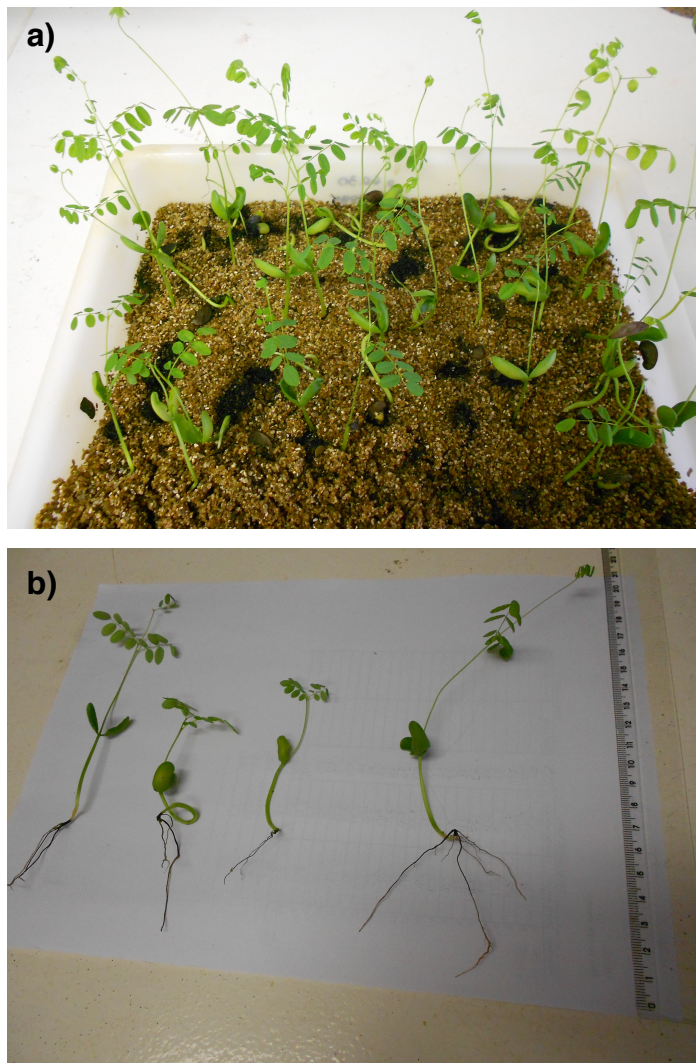


Figura 4. Bandejas contendo plântulas de *Dalbergia miscolobium* (a) e medição de plântulas (b). (Fonte: Klécia Gili Massi, 12/11/11)

Crescimento de indivíduos adultos

Dendrômetros feitos manualmente com fitas de alumínio e instalados a 30 cm do solo em 2006 foram usados para medir o incremento na circunferência do tronco dos indivíduos de *D. miscolobium*. A medição foi efetuada com o uso de um paquímetro (n=5 plantas por tratamento) e o crescimento relativo foi calculado por $C_{\text{relativo}} = \text{circunferência medida em julho 2011} / \text{circunferência medida em junho de 2006}$.

Análises estatísticas

Os dados foram testados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e a distribuição dos dados foi normal. Assim, os tratamentos (com e sem fertilizantes) foram comparados entre si pelo teste T, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram rodadas no programa JMP Pro 10.0.

RESULTADOS

Produção de frutos

No ano de avaliação, dos indivíduos que não produziram frutos (6), a maior parte (4/6=67%) estava nas parcelas sem adição de fertilizantes (Tabela 1). Dos indivíduos que frutificaram nas parcelas sem fertilizantes, a maior parte possuía de 26 a 50% da copa ocupada por frutos (Tabela 1). O único indivíduo que apresentou de 76 a 100% da copa com frutos estava na parcela adubada. Em média, ambas as parcelas apresentaram a mesma intensidade de frutificação ($t = 0$; $p=1$; Tabela 1).

Tabela 1. Número de indivíduos em cada uma das intensidades de frutificação e porcentagem de frutificação nos tratamentos com e sem fertilizantes. (% de intensidade = $\frac{((n_0 \cdot 0) + (n_1 \cdot 1) + (n_2 \cdot 2) + (n_3 \cdot 3) + (n_4 \cdot 4))}{(4 \cdot N)} \cdot 100$), onde n_0, n_1, n_2, n_3, n_4 são o número de indivíduos observados em cada uma das intensidades de frutificação e N é o número total de indivíduos observados.)

Intensidade de frutificação (%)/ Tratamento	0	1-25	26-50	51-75	76-100	%
Com fertilizantes (N=5)	2	1	1	0	1	35% a
Sem fertilizantes (N=15)	4	3	6	2	0	35% a

Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$).

A massa dos frutos foi maior nas plantas não adubadas ($t = -4,07$; $p < 0,0001$), mas a massa das sementes não diferiu entre os tratamentos ($t = -1,12$; $p = 0,2660$; Tabela 2).

Tabela 2. Massa dos frutos e sementes; tempo médio e porcentagem de germinação de sementes; biomassa e comprimento aéreo e radicular e raiz/parte aérea de plântulas de *Dalbergia miscolobium* oriundas de sementes de plantas submetidas aos tratamentos com e sem fertilizantes ($n = 3$ indivíduos). Dados expressos em média \pm desvio padrão.

	Com fertilizantes	Sem fertilizantes
Massa fresca dos frutos (mg)	129 \pm 43 a (n=102)	151 \pm 37 b (n=120)
Massa fresca das sementes (mg)	66 \pm 22 a (n=102)	69 \pm 15 a (n=120)
Tempo médio de germinação (dias)	5 \pm 1 a (n=136)	4 \pm 1 a (n=240)
Germinação (%)	73 \pm 20 a (n=136)	87 \pm 10 b (n=240)
Biomassa aérea (mg/plântula)	14 \pm 15 a (n=40)	13 \pm 7 a (n=92)
Biomassa radicular (mg/plântula)	17 \pm 6 a (n=40)	17 \pm 6 a (n=92)
Biomassa raiz/parte aérea	1 \pm 1 a (n=40)	2 \pm 1 a (n=92)
Comprimento aéreo (cm/plântula)	6 \pm 3 a (n=40)	7 \pm 2 a (n=92)
Comprimento radicular (cm/plântula)	11 \pm 3 a (n=40)	10 \pm 3 b (n=92)
Comprimento raiz/parte aérea	2 \pm 2 a (n=40)	2 \pm 1 b (n=92)

Valores seguidos da mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste t ($p > 0,05$).

Germinação, biomassa e crescimento de plântulas

A adubação da planta-mãe não influenciou no tempo médio ($t = 1,86$; $p = 0,0781$; Tabela 2), mas a porcentagem de germinação foi maior nas sementes de plantas não adubadas do que nas de plantas adubadas ($t = -2,24$; $p = 0,0395$; Tabela 2). As sementes iniciaram sua germinação no segundo dia após o início do experimento, sendo que a maioria delas germinou até o sexto dia de experimento (71% em sementes de plantas adubadas e 84% em sementes de plantas

controle). A espécie levou duas semanas para alcançar a máxima porcentagem de germinação, tanto para as sementes oriundas de plantas adubadas quanto as de plantas não adubadas (Figura 5).

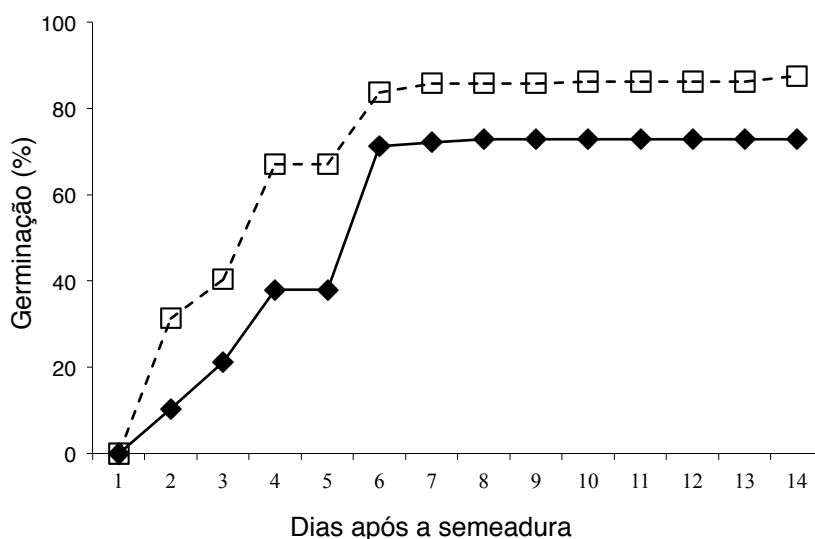


Figura 5. Germinação e desenvolvimento pós-seminal de *Dalbergia miscolobium* oriundas de plantas submetidas aos tratamentos com (linha cheia) e sem fertilizantes (linha tracejada).

As biomassas aérea e radicular das plântulas não diferiram estatisticamente entre os tratamentos ($t=0,54$; $p=0,5945$ e $t=-0,14$; $p=0,8856$, respectivamente) (Tabela 2). Independente do tratamento, a biomassa e o comprimento da parte radicular foram maiores do que a biomassa e o comprimento da parte aérea ($t=4,56$; $p<0,0001$ e $t=11,51$; $p<0,0001$, respectivamente). Quando comparado entre os tratamentos, o comprimento da parte aérea não diferiu estatisticamente ($t=-1,49$; $p=0,1414$), mas o comprimento radicular das plântulas oriundas de sementes das áreas fertilizadas foi maior do que o das plântulas originadas de sementes controle ($t=2,28$; $p=0,0254$) (Tabela 2). Por esse motivo, a relação comprimento raiz:parte aérea foi diferente entre os tratamentos ($t=2,94$; $p=0,0053$), embora a biomassa raiz:parte aérea não tenha apresentado diferença ($t=-1,12$; $p=0,2629$).

Crescimento de indivíduos adultos

A adição de nutrientes não teve efeitos significativos sobre o crescimento relativo ($t=-0,2864$; $p=0,7828$) que foi de $1,15 \pm 0,25$ cm/cm (média \pm desvio padrão) nas plantas das parcelas fertilizadas e $1,12 \pm 0,13$ cm/cm nas não fertilizadas, ou seja, as plantas das parcelas fertilizadas cresceram 15% e as das áreas controle cresceram 12% em cinco anos, respectivamente.

DISCUSSÃO

Produção de frutos

Alguns indivíduos não frutificaram no ano de coleta e a maioria desses estava nas áreas sem adição de nutrientes. Oliveira et al. (2004) destacaram que a produção de frutos em *Aspidosperma macrocarpum* foi pequena e restrita a alguns indivíduos e que *Qualea grandiflora* se reproduz massivamente a cada dois anos, com quase nenhum fruto sendo produzido dentro desse intervalo de tempo. Tais irregularidades reprodutivas foram também apontadas para *Andira humilis* e *Anona crassiflora* (Rizzini, 1976) e para outras espécies de Cerrado (Pirani et al., 2009), demonstrado que tal fato é comum. *Dalbergia miscolobium* apresentou o padrão irregular de frutificação comumente encontrado para as espécies lenhosas de Cerrado, embora os dados não sejam conclusivos devido a amostragem limitada.

Stephenson (1981) apontou que o limite na produção de frutos é usualmente determinado pelos recursos disponíveis (como água e nutrientes). A despeito da adição de fertilizantes as plantas fertilizadas produziram a mesma quantidade de frutos que as não fertilizadas. Em ambientes naturais maior produção de sementes foi observada em algumas espécies herbáceas de áreas de campo tais como *Daucus carota*, *Picris hieracioides* e *Scabiosa columbaria* (Verkaar & Schenkeveld, 1984) sob níveis mais elevados de fertilização nutricional. No que se refere às espécies arbóreas, os indivíduos fertilizados de *Sorbus aucuparia* produziram mais frutos e sementes do que os indivíduos controle em uma variedade de habitats (Sperens, 1997) e em *Ipomoea wolcottiana*, espécie arbórea de floresta seca, a iniciação de frutos foi grandemente aumentada devido à aplicação de fósforo no solo (Parra-Tabla & Bullock, 2003).

Se a planta-mãe não alocasse os recursos produzindo maior quantidade de frutos e sementes (Zhang, 1998), era esperado que o fizesse produzindo frutos e sementes com maior massa, o que não foi observado. Assume-se existir um *trade-off* entre tamanho e massa da prole explicado pelo elevado gasto energético da reprodução (Bawa & Hadley, 1990), onde um aumento na massa dos diásporos estaria relacionado à diminuição no número da progênie (Lord & Westoby, 2006; Greenway & Harder, 2007). Um estudo realizado com duas espécies arbóreas de Cerrado mostrou que *Miconia falax* frutificou em menor intensidade e em contrapartida produziu frutos e sementes mais pesados em área de solo de Cerrado mais rico em nutrientes, mas *Matayba guianensis* produziu o mesmo número e massa de frutos e sementes em ambos os ambientes (Lomônaco & Reis, 2007). Desse modo, a quantidade e a massa dos propágulos podem ser regulados independentemente para algumas espécies, como para a espécie estudada. Adicionalmente, o resultado de maior massa de frutos em plantas controle pode indicar que sob condições de estresse nutricional a espécie investiria mais recursos na proteção física da semente.

Germinação, biomassa e crescimento

Muitos estudos têm se concentrado sobre o efeito do tamanho da semente na germinação e têm demonstrado correlações positivas (Zammit & Zedler, 1990; Mólken et al., 2005). O efeito do tratamento não foi significativo sobre a massa de sementes e, então, não exerceu influência sobre o tempo médio de germinação; mas a porcentagem de germinação foi reduzida em sementes originadas de plantas adubadas. Tal resultado não pode ser atribuído à alteração da composição nutricional das sementes da espécie estudada, pois os resultados preliminares (dados não apresentados) demonstraram não haver efeito da adição nutricional sobre a porcentagem de carboidratos e lipídeos.

Independentemente dos efeitos do tratamento, as sementes de *D. miscolobium* germinaram rapidamente (no segundo dia) e em alta porcentagem (em duas semanas todas as semanas haviam germinado). Sasaki & Felipe (1999) observaram que a germinação de sementes de *Dalbergia miscolobium* iniciou no terceiro dia e alcançou quase 100% no décimo dia. A germinação das espécies do Cerrado é variável, mas a estratégia de germinar em grande

quantidade e rapidamente aumenta a probabilidade de se estabelecer e sobreviver à próxima estação seca, porque as plântulas teriam toda a estação chuvosa para desenvolver o sistema radicular e aparato fotossintético (Oliveira, 1998; Rossatto & Kolb, 2010).

Em geral, plântulas originadas de sementes pequenas são menores e menos vigorosas do que aquelas originadas de sementes grandes (Baker, 1972). Vaughton & Ramsey (2001) observaram que o tamanho da plântula, o número de folhas e o comprimento da raiz estiveram positivamente relacionados à massa da semente. Igualmente plântulas de *D. miscolobium* originadas de sementes grandes apresentaram crescimento superior, quando comparadas às provindas de sementes pequenas (Sasaki & Felipe, 1999). Em outro estudo com a mesma espécie não houve efeito da adição de nutrientes sobre a massa seca de plântulas (Sasaki & Felipe, 1998). Como a adição de nutrientes não exerceu efeito sobre a massa de sementes, também não o fez sobre a biomassa das partes aérea e radicular e o comprimento da parte aérea. O maior comprimento radicular em plântulas de sementes das áreas fertilizadas indica um investimento em alongamento dos órgãos subterrâneos. Adicionalmente, observei valores mais elevados de comprimento e biomassa radiculares quando comparados aos valores de comprimento e biomassa de parte aérea. Devido à estresses sazonais, o componente subterrâneo representa a maior parte da biomassa total das plantas do Cerrado (Abdala et al., 1998; Hoffmann & Franco, 2003).

Crescimento diamétrico

Muitos estudos realizados em condições de casa de vegetação avaliaram a influência da adubação sobre o crescimento de plântulas ou sobre estágios iniciais de desenvolvimento de espécies arbóreas e encontram relações positivas entre essas variáveis (Paulilo et al., 1974; Sasaki & Felipe, 1998; Schumacher et al., 2004). Entretanto, a observação dessa mesma relação em indivíduos adultos em condições naturais não é comum. Conforme Adamek et al. (2009) estudando três espécies arbóreas de floresta tropical montana, Coradin et al. (2002) em *Miconia albicans* e *Didymopanax macrocarpum* (duas espécies de Cerrado) e a espécie analisada neste estudo o crescimento de indivíduos adultos em condições de campo não foi aumentado em função da fertilização. A idade das

plantas afeta sua capacidade de absorção de nutrientes, uma vez que depende da habilidade das raízes em remover os nutrientes do solo (Clarkson, 1985). Também o metabolismo de incorporação dos elementos minerais em elementos orgânicos é diferenciado de acordo com a maturidade do organismo.

Outro aspecto é a habilidade das plantas em responder a níveis nutricionais mais altos. As comparações de espécies congênicas de Cerrado e mata de galeria, ou seja, de ambientes de solo distrófico e de solo mais rico, respectivamente, permitem representar diferenças e semelhanças no modo que as espécies de plantas respondem ao ambiente. Espécies de mata crescem mais e tem sua produção de folhas um mês mais tarde que as espécies de Cerrado, mas ambas produzem a mesma quantidade de folhas (Rossatto et al., 2009) e florescem e frutificam majoritariamente no mesmo período, a estação chuvosa (Silva et al., 2011). *Dalbergia miscolobium* (espécie de Cerrado) quando colocada para germinar em ambiente de mata (de solo mais rico) apresentou alta mortalidade de sementes e redução no estabelecimento das plântulas (Hoffmann et al., 2004). Desse modo, plantas adaptadas a solos oligotróficos (tais como a espécie estudada) são menos exigentes em nutrientes minerais, uma vez que possuem inúmeras estratégias, tais como a retranslocação de elementos minerais de órgãos senescentes, que podem garantir todo o requerimento nutricional para atividades reprodutivas (Larcher, 2000). Também Rizzini (1976) salienta que a emissão de folhas e flores, depois de toda a estação seca e antes das chuvas da maioria das plantas do Cerrado confirma a amplitude de reservas edáficas das plantas que habitam este bioma.

A espécie estudada é uma Fabaceae com capacidade de fixação de nitrogênio (Cordeiro, 2002). Essa característica é útil em solos pobres em tal nutriente, (Ricklefs, 1996) como os solos do Cerrado, e diminuiria sua demanda por este elemento nas áreas sem fertilização. Nas áreas que receberam adubo, o conteúdo mais elevado de nitrogênio pode exercer efeito inibitório à fixação de nitrogênio (Dommergues, 1995). Assim, é possível que as plantas adubadas estejam usando o adubo como fonte de nitrogênio enquanto as não fertilizadas estejam fixando nitrogênio biologicamente. A ausência de demanda por este elemento pode ser refletida para outros elementos.

CONCLUSÕES

Assim, apesar da aparente restrição nutricional imposta às espécies do Cerrado, a reprodução e o crescimento de *Dalbergia miscolobium* não foram estimulados pelo aumento na disponibilidade de nutrientes minerais no solo. Assim, a espécie estudada parece estar adaptada à baixa qualidade nutricional dos solos. É importante que outras espécies também sejam estudadas no que se refere a resposta reprodutiva e de crescimento em condições de campo à adição mineral no solo. Finalmente, a fertilização como ferramenta de manejo e conservação para aumentar a produtividade no campo de espécies arbóreas de Cerrado pode não ser efetiva, especialmente para indivíduos adultos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, G.C.; Caldas, L.S.; Haridasan, M. & Eiten, G. 1998. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in central Brazilian Journal of Ecology 2(1):11-23.
- Abrahamson, W.G. & Caswell, H. 1982. On the Comparative Allocations of Biomass, Energy, and Nutrients in Plants. Ecology 63(4):982-991.
- Adamek, M.; Corre, M.D. & Hölscher, D. 2009. Early effect of elevated nitrogen input on above-ground net primary production of a lower montane rain forest, Panama. Journal of Tropical Ecology 25(6):637-647.
- Ashman, T-L. 1994. A dynamic perspective on the physiological cost of reproduction in plants. The American Naturalist 144(2):300-316.
- Baker, H.G. 1972. Seed Weight in Relation to Environmental Conditions in California. Ecology 53(6):997-1010.
- Bawa, K.S. & Hadley, M. 1990. Reproductive ecology of tropical forest plants. Man and the biospheres series: v7. Unesco, Paris.
- Bazzaz, F.A.; Chiariello, N.R.; Coley, P.D. & Pitelka, L.F. 1987. Allocating Resources to Reproduction and Defense. BioScience 37(1):58-67.
- Bernett, C.C.; Laemmerzhil, A. & Rockwood, L.L. 2009. Reduction in Reproductive Output and Leaf Size in *Sanguinaria canadensis* as a cost of Reproduction. Journal of the Torrey Botanical Society 136(4):457-464.
- Braz, M.S.S.; Souza, V.C.; Andrade, L.A.; Bruno, R.L.A.; Oliveira, L.S.B. & Silva, J.M. 2009. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de

- jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All.ex. Benth)
Leguminosae-Papilonoideae. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 4: 67-71.
- Breen, A.N. & Richards, J.H. 2008. Irrigation and Fertilization Effects on Seed Number, Size, Germination and Seedling Growth: Implications for Desert Shrub Establishment. *Oecologia* 157(1):13-19.
- Bucci, S.J.; Scholz, F.G.; Godstein, G.; Meinzer, F.C.; Franco, A.C.; Campanello, P.I.; Villabos-Vega, R.; Bustamante, M. & Mirralles-Wilhelm. 2006. Nutrient availability constrains the hydraulic architecture and water relations of savannah trees. *Plant, Cell and Environment* 29:2153-2167.
- Bustamante, M.M.C.; Brito, D.Q.; Kozovits, A.R.; Luedemann, G.; Mello, T.R.B.; Pinto, A.S.; Munhoz, C.B.R. & Takahashi, F.S.C. 2012. Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savana (Cerrado). *Plant Ecology* 213:795-808.
- Chapin, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11:233-260.
- Chiarucci, A.; Maccherini, S.; Bonini, I. & De Dominicis, V. 1999. Effects of Nutrient Addition on Community Productivity and Structure of Serpentine Vegetation. *Plant Biology* 1:121-126.
- Clarkson, D.T. 1985. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. *Annual Review of Plant Physiology* 36:77-115.
- Coradin, V.T.R., Haridasan, M., Souza, M. R. & Silva, M.E.F. 2002. Influência da calagem e da adubação no crescimento de duas espécies lenhosas do cerrado. *Brasil Florestal* 74:53-60.
- Cordeiro, L. 2002. Fixação de nitrogênio em leguminosas ocorrentes no cerrado. In: Klein, A. (Ed.) *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. UNESP, São Paulo. pp.131-145.
- Coutinho, L.M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (Eds.) *Ecology of tropical savanas*. Springer-Verlag, Berlin. pp.273-291.
- Cuzzuol G.R.F., Carvalho M.A.M., Barbedo C.J., Zaidan L.B.P. 2003. Crescimento e conteúdo de frutanos em plantas de *Vernonia herbacea* (Vell.) Rusby

- submetidas à adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Botânica* 26:81-91.
- DiTommaso, A. & Aarssen, L.W. 1989. Resource manipulations in natural vegetation: a review. *Vegetatio* 84:9-29.
- Dommergues, Y.R. 1995. Nitrogen fixation by trees in relation to soil nitrogen economy. *Fertilizer Research* 42:215-230.
- Eiten, G. 1982. Brazilian savannas. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (eds). *Ecology of tropical savannas*. Springer-Verlag, Berlin. pp.25-47.
- Fonseca, M.S. & Silva Junior, M.C. 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(1):19-29
- Fournier, L.A. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24:422-423.
- Frankie, G.W.; Baker, H.G. & Opler, P.A. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forest in the lowlands Costa Rica. *Journal of Ecology* 62:881-919.
- Geiger, E.L.; Gotsch, S.G.; Damasco, G.; Haridasan, M.; Franco, A.C. & Hoffmann, W.A. 2011. Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration under fire suppression in a Brazilian savanna. *Journal of Vegetation Science* 22:312-321.
- Goodland, R. 1971. A physiognomic analysis of the 'cerrado' vegetation of Central Brasil. *Journal of Ecology* 59:411-419.
- Greenway, C.A. & Harder, L.D. 2007. Variation in Ovule and Seed Size and Associated Size-Number Trade-Offs in Angiosperms. *American Journal of Botany* 94(5):840-846.
- Grman, E.L. & Alexander, H.M. 2005. Factors Limiting Fruit Production in *Asclepias meadii* in Northeastern Kansas. *American Midland Naturalist* 135(2):245-256.
- Gross, K.L. 1984. Effects of seed size and growth form on seedling establishment of six monocarpic perennial plants. *Journal of Ecology* 72:369-387.
- Haig, D. & Westoby, M. 1988. On limits to seed production. *American Naturalist* 131:757-759.

- Haridasan, M. 1992. Observations on soils, foliar nutrient concentrations, and floristic composition of cerrado and cerradão communities in central Brazil. In: Proctor, J.; Ratter, J.A. & Furley, P.A. (Eds.) *The Nature and Dynamics of forest-savanna boundaries*. Chapman & Hall, London. pp.171-184.
- Haridasan, M. 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 20:183-195.
- Hirose, T.; Kinugasa, T. & Shitaka, Y. 2005. Time of flowering, costs of reproduction, and reproductive output in annuals. In: Reekie, E.G. & Bazzaz, F.A. (Eds.) *Reproductive allocation in plants*. pp.159-188.
- Hoffmann, W.A. 1998. Post-Burn Reproduction of Woody Plants in a Neotropical Savanna: The Relative Importance of Sexual and Vegetative Reproduction. *Journal of Applied Ecology* 35(3):422-433.
- Hoffmann, W.A. & Franco, A.C. 2003. Comparative growth analysis of tropical Forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *Journal of Ecology* 91:475-484.
- Hoffmann, W.A.; Orthen, B. & Franco, A.C. 2004. Constraints to Seedling Success of Savanna and Forest Trees across the Savanna-Forest Boundary. *Oecologia* 140(2):252-260.
- Hoffmann, W.A.; Geiger, E.L.; Gotsch, S.G.; Rossatto, D.R.; Silva, L.C.R.; Lau, O.L.; Haridasan, M. & Franco, A.C. 2012. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters* 15(7):759-768.
- Janzen, D.H. 1967. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. *Evolution* 21:620-627.
- Kytö, M.; Niemelä, P.; Annala, E. & Varama, M. 1999. Effects of Forest Fertilization on the Radial Growth and Resin Exudation of Insect-Defoliated Scots Pines. *Journal of Applied Ecology* 36(5):763-769.
- Labouriau, L.G. 1983. A germinação das sementes. Série de Biologia. Monografia 24. Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos – OEA, Washington
- Lahoreau, G.; Barot, S.; Gignoux, J.; Hoffmann, W.A.; Setterfield, S.A. & Williams, P.R. 2006. Positive effect of seed size on seedling survival in fire-prone

- savannas of Australia, Brazil and West Africa. *Journal of Tropical Ecology* 22(6):719-722.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. RiMa, São Carlos.
- Lenza, E. & Klink, C.A. 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Revista Brasileira de Botânica* 29(4):627-638.
- Lomônaco, C. & Reis, N.S. 2007. Produção de frutos e sementes em *Miconia fallax* DC. (Melastomataceae) e *Matayba guianensis* Aubl. (Sapindaceae) em duas áreas de Cerrado no Triângulo Mineiro. *Revista Biologia Neotropical* 4(1):13-20.
- Lord, J.M & Westoby, M. 2006. Accessory Costs of Seed Production. *Oecologia* 150(2):310-317.
- Medina, E. 1986. Requirements, Conservation and Cycles of nutrients in the herbaceous layer. In: Walker, B.H. (Ed.) *Determinants of tropical savanas*. IUBS Monograph Series 3. IRL Press, Oxford. pp.39-66.
- Mölken, T. Van; Jorritsma-Wienk, L.D.; Hoek, P.H.W. van & Kroon, H. De. 2005. Only Seed Size Matters for Germination in Different Populations of the Dimorphic *Tragopogon pratensis subsp. pratensis* (Asteraceae). *American Journal of Botany* 92(3):432-437.
- Nietsche, S.; Gonçalves, V.D.; Pereira, M.C.T.; Santos, F.A.; Abreu, S.C. & Mota, W.F. 2004. Tamanho da semente e substratos na germinação e crescimento inicial de mudas de cagaiteira. *Ciência Agrotécnica* 28(6):1321-1325.
- Oliveira, P.E. 1998. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de cerrado. In: Sano, S.M. & Almeida, S.P. (Eds.) *Cerrado: ambiente e flora*. pp.169-192.
- Oliveira, P.E.; Gibbs, P.E. & Barbosa, A.A. 2004. Moth pollination of woody species in the Cerrados of Central Brazil: a case of so much owed to so few? *Plant Systematic and Evolution* 245:41-54.
- Parra-Tabla, V. & Bullock, S.H. 2003. Exploring the Limiting Causes of Fruit Production in the Tropical Tree *Ipomoea wolcottiana* Rose (Convolvulaceae). *Plant Ecology* 166(1):107-115.
- Paulilo, M.T.S., Felipe, G.M. & Dale, J. 1994. Crescimento inicial de *Qualea grandiflora*. *Revista Brasileira de Botânica* 16:37-46

- Pirani, F.R.; Sanchez, M. & Pedroni, F. 2009. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. *Acta Botânica Brasílica* 23(4):1096-1109.
- Reekie, E.G. & Avila-Sakar, G. 2005. The shape of the trade-off function between reproduction and growth. In: Reekie, E.G. & Bazzaz, F.A. (Eds.) *Reproductive allocation in plants*. pp.189-214.
- Ribeiro, M.L. 2011. Reserva Ecológica do IBGE: Biodiversidade Terrestre. Vol 1. Tomo 1. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro.
- Ricklefs, R.E. 1996. *A economia da natureza*. Ed Guanabara, Rio de Janeiro.
- Rizzini, C.T. 1976. *Tratado de fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. Âmbito Cultural, Rio de Janeiro.
- Roach, D.A. & Wulff, R.D. 1987. Maternal Effects in Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18:209-235.
- Ronnenberg, K.; Hensen, I. Wesche, K. 2011. Contrasting effects of precipitation and fertilization on seed viability and production of *Stipa krylovii* in Mongolia. *Basic and Applied Ecology* 12:141-151.
- Rossatto, D.R.; Hoffmann, W.A. & Franco, A.C. 2009. Differences in growth patterns between co-occurring forest and savanna trees affect the forest-savanna boundary. *Functional Ecology* 23:689-698.
- Rossatto, D.R. & Kolb, R.M. 2010. Germinação de *Pyrostegia venusta* (Bignoniaceae), viabilidade de sementes e desenvolvimento pós-seminal. *Revista Brasileira de Botânica* 33(1):51-60.
- Ruggiero, P.G.C.; Batalha, M.A.; Pivello, V.R. & Meirelles, S.T. 2002. Soil-Vegetation Relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and Semideciduous Forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology* 160(1):1-16.
- Sasaki, R.M. & Felipe, G.M. 1998. Response of *Dalbergia miscolobium* Benth. seedlings, a cerrado tree species, to mineral nutrient supply. *Revista Brasileira de Botânica* 21(1):65-72.
- Sasaki, R.M. & Felipe, G.M. 1999. Single-Seeded Fruits and Seedling Establishment in *Dalbergia miscolobium* Benth. (Papilionaceae). *Biotropica* 31(4):591-597.

- Schumacher, M.V.; Ceconi, D.E. & Santana, C.A. 2004. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). *Revista Árvore* 28(1):149-155.
- Silva, I.A.; Silva, D.M.; Carvalho, G.H. & Batalha, M.A. 2011. Reproductive phenology of Brazilian savannas and riparian forests: environmental and phylogenetic issues. *Annals of Forest Science* 68:1207-1215.
- Sinclair, T.R. & de Wit, C.T. 1975. Photosynthate and Nitrogen Requirements for Seed Production by Various Crops. *Science* 189:565-567.
- Sperens, U. 1997. Long-term variation in, and effects of fertiliser addition on, flower, fruit and seed production in the tree *Sorbus aucuparia* (Rosaceae). *Ecography* 20:521-534.
- Stephenson, A.G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 12:253-279.
- Vaughton, G. & Ramsey, M. 2001. Relationships between Seed Mass, Seed Nutrients, and Seedling Growth in *Banksia cunninghamii* (Proteaceae). *International Journal of Plant Sciences* 162(3):599-606.
- Verkaar, H.J. & Schenkeveld, A.J. 1984. On the Ecology of Short-Lived Forbs in Chalk Grasslands: Semelparity and Seed Output of Some Species in Relation to Various Levels of Nutrient Supply. *New Phytologist* 98(4):673-682.
- Villela, D.M.V. & Haridasan, M. 1994. Response of the ground layer community of a cerrado vegetation in central Brazil to liming and irrigation. *Plant and Soil* 163:25-31.
- Whittaker, R.H. 1975. *Communities and Ecosystems*. Macmillan Publishing Co., New York.
- Wulff, R.D. 1986. Seed Size Variation in *Desmodium Paniculatum*: I. Factors Affecting Seed Size. *Journal of Ecology* 74 (1):87-97.
- Zammit, C. & Zedler, P.H. 1990. Seed Yield, Seed Size and Germination Behaviour in the Annual *Pogogyne abramsii*. *Oecologia* 84(1):24-28.
- Zhang, D-Y. 1998. Evolutionarily Stable Reproductive Strategies in Sexual Organisms. IV. Parent Offspring Conflict and Selection of Seed Size in Perennial Plants. *Journal of Theoretical Biology* 192:143-153.

CAPÍTULO 2

EFEITOS DO TAMANHO, DANO E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES SOBRE A REBROTA PÓS-FOGO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS DE CERRADO

Resumo

Muitas árvores do Cerrado sobrevivem à eventos de queima por meio da produção de rebrotas. A recuperação de indivíduos lenhosos pós-fogo é influenciada pelo tamanho dos indivíduos pré-fogo, pelo nível de dano e pela disponibilidade de nutrientes no solo. A rebrota aérea é a resposta mais usual para danos leves causados pelo fogo, mas a produção de rebrotas basais é mais frequente em danos mais acentuados. Este trabalho objetiva verificar se o tamanho dos indivíduos, a severidade do dano causado pelo fogo e a disponibilidade de nutrientes influenciam a resposta quantitativa (número e intensidade de rebrotas basal e apical, respectivamente) e qualitativa (tipo de rebrota) de recuperação pós-fogo de três espécies arbóreas de Cerrado. O estudo foi realizado em um experimento de adição de nutrientes em uma área de cerrado *sensu stricto* na Reserva Ecológica do IBGE. *Guapira noxia* teve o maior nível de dano comparado com os das outras duas espécies e rebrotou principalmente a partir da base, já em *Dalbergia miscolobium* e *Eriotheca pubescens* o lançamento de novas folhas foi a resposta de recuperação pós-fogo. O tamanho dos indivíduos antes do fogo esteve relacionado positivamente à intensidade de rebrota aérea para todos os indivíduos. O nível de dano relacionou-se positivamente ao número de rebrotas basais. A adição de nutrientes não promoveu aumento no número de rebrotas basais e na intensidade de rebrotas aéreas, mas poderia estar sendo destinada a órgãos de reserva. Assim, a resposta ao fogo das espécies arbóreas pode também variar no que se refere ao tipo de rebrota produzida.

Palavras-chave: rebrota basal e apical, adubação, queimadas.

Abstract

Many Cerrado trees are likely to survive to the fire by sprouting. The post-fire recovery of trees is influenced by the pre-fire size of individuals, damage and resources availability in the soil. The apical sprout is the most common response to low intensity damage, while basal sprouts are frequent in more intense damage. The aim of this study was to verify if size, damage and resources availability influence on the quantitative (number and intensity of basal and aerial sprouts, respectively) and qualitative post-fire response (sprouts type) of three woody Cerrado species growing in fertilized and non-fertilized Cerrado plots in the Ecological Reserve of IBGE near Brasília, Brazil. *Guapira noxia* had the highest damage level and sprouted from basal buds; while the post-fire response of *Dalbergia miscolobium* and *Eriotheca pubescens* was flushing. Pre-fire size was positively related to the intensity of apical sprouting. Damage level was positively related to basal sprouting. Nutrient addition did not result in an increase in number of basal sprouts and intensity of aerial sprouts, but the nutrients might be used to root reserves. Thus, the fire response of woody species can change referring to the resprout type.

Key-words: basal and aerial sprout, fertilization, burning.

INTRODUÇÃO

O fogo tem sido registrado em diversos ecossistemas pelo mundo e os registros mais antigos de queimadas são relacionados a causas naturais (San José & Fariñas, 1991). Registra-se a ocorrência de queimadas no Cerrado entre 32 e 3,5 mil anos atrás (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; Guimarães et al., 2003); deste modo, o longo período de ocorrência de incêndios permitiu que muitas espécies se tornassem tolerantes ou até mesmo dependentes do fogo para alguns processos ecológicos neste ambiente (Coutinho, 1982). Os impactos do fogo sobre as formas vegetacionais variam em função de características da vegetação e do tipo de incêndio (subterrâneo, superfície, copa), época (estação úmida ou seca), frequência (determinando o intervalo de tempo que a planta tem para se recuperar) e do comportamento do fogo (especialmente o calor liberado durante a combustão, a velocidade da frente de fogo e a duração de temperaturas

elevadas) (Miranda et al., 2002, 2010). De forma geral, os autores são unânimes em observar que o fogo tende a aumentar a mortalidade de plantas do Cerrado, reduzir o tamanho dos indivíduos arbóreos e aumentar a reprodução vegetativa (Coutinho, 1982; Hoffmann & Moreira, 2002; Sato et al., 2010). Raison (1979) destaca quatro efeitos do fogo nas comunidades vegetais e dentre eles a poda que promove capacidade regenerativa para algumas espécies.

A frequência de um determinado distúrbio, por exemplo, um regime de queima pode conduzir à seleção de certos atributos vitais de organismos (Gowe & Brewer, 2005). A seleção de um atributo como a capacidade de rebrota como meio de persistência é assumida como sendo fortemente ligada à frequência, severidade e previsibilidade de um distúrbio e como esses interagem com a taxa de crescimento dos organismos (Bond & Midgley, 2003). Ao mesmo tempo, severidade é uma medida de “percepção” da planta a um distúrbio, ou seja, a intensidade de um distúrbio particular afeta uma planta de acordo com a sua resistência a ele. Assim um evento de distúrbio pode ser “percebido” como tendo diferentes níveis de severidade por diferentes espécies de plantas de Cerrado ocupando uma mesma área, e então pode induzir a uma variedade de tipos de respostas ou estratégias (Bellingham & Sparrow, 2000; Moreira, 2000).

Para sobreviver a um distúrbio as espécies vegetais usam distintas estratégias. Segundo Pyne (1984) a maioria das adaptações ao fogo são atributos gerais que representam respostas a pressões seletivas múltiplas tais como herbívoros, seca, fogo, ou a esses fatores agindo de modo combinado; e são defensivas, para assegurar a sobrevivência durante e após o fogo. Entre as plantas arbóreas do Cerrado as adaptações mais comuns são aquelas que conferem às espécies evitar tal estresse, tais como: casca grossa e corticenta em torno dos troncos e galhos; a capacidade de rebrotar a partir de órgãos subterrâneos como lignotubers e gemas apicais densamente pilosas (Coutinho, 1982; Hoffmann, 1998; Hoffmann & Moreira, 2002; Hoffman & Solbrig, 2003; Hayashi & Appezzato-da-Glória, 2007; Hoffmann et al., 2009).

Graças à seca e ao fogo periódicos, o crescimento das árvores do Cerrado arrasta-se lentamente, havendo sucessivas decapitações anuais das partes aéreas; assim, durante muito tempo, elas permanecem com hábito subarbustivo ou arbustivo (Rizzini, 1976; Hoffmann & Solbrig, 2003; Hoffmann et al., 2009).

Embora alguma mortalidade possa ocorrer, muitas árvores sobrevivem por meio da produção de rebrotas. Rebrotar é definido como a produção de caules secundários em resposta induzida à injúria ou a mudanças profundas nas condições de crescimento (Bond & Midgley, 2003). A capacidade de rebrotar difere de crescimento clonal na medida em que não implica propagação vegetativa (Del Tredici, 2001). Para Rizzini (1976) o distúrbio alterando o equilíbrio da comunidade, perturba o processo e subsistem as espécies capazes de regenerar o próprio indivíduo ou melhor, sua parte aérea.

Segundo Frost & Robertson (1987) a frequência das queimadas determina o tempo que as plantas levam para recuperar-se após um evento de queima e essa taxa de recuperação depende da extensão do dano sofrido pela planta, da sua estratégia de regeneração e do ambiente pós-fogo. Tal capacidade de recuperação é influenciada pelo diâmetro do caule e altura dos indivíduos lenhosos. Muitos estudos têm observado que plantas maiores sofrem menos dano pelo fogo e rebrotam melhor (Pausas, 1997; Gignoux et al., 1997; Belingham & Sparrow, 2000; Konstantinidis et al., 2006), pois indivíduos maiores acumulam mais reservas e/ou têm gemas subterrâneas mais ativas ou tem casca mais grossa (Hoffmann et al., 2009). Cirne & Scarano (2001) encontraram que a produção de rebrotas em *Andira legalis* foi relacionada ao tamanho individual antes do fogo. A mortalidade de indivíduos de espécies arbóreas de Cerrado será maior entre os de pequeno porte, ou seja, entre aqueles que ainda não possuem casca espessa o suficiente para oferecer proteção efetiva contra as altas temperaturas durante a passagem da frente de fogo; uma vez ultrapassada certa altura ou circunferência, a probabilidade de sobrevivência ao fogo aumenta (Raw & Hay, 1985; Hoffmann, 1998; Hoffmann & Solbrig, 2003; Sato et al., 2010). Assim, os indivíduos grandes perderiam somente as folhas e galhos finos e rebrotariam apicalmente de gemas dormentes na copa, enquanto os indivíduos pequenos podem perder grande parte de sua copa, rebrotando na base a partir de gemas no nível do solo (Hoffmann & Moreira, 2002; Hayashi & Appezzato-da-Glória, 2007). Sato et al. (2010) resumem que o dano leve com a produção de rebrota aérea é a resposta mais usual das plantas do Cerrado para eventos de fogo, mas que a morte da parte aérea e o entouceiramento, como

consequência da produção de rebrotas basais e subterrâneas, são mais frequentes em plantas que sofreram danos mais acentuados.

Em casos onde o distúrbio remove apenas uma proporção da biomassa acima do solo, plantas jovens, possivelmente mais vigorosas, rebrotam mais frequentemente do que plantas mais velhas (Belingham & Sparrow, 2000). Ao contrário, em casos onde o distúrbio causa a perda de toda a biomassa acima do solo, a mobilização de recursos será essencial para a rebrota e plantas mais velhas deverão ter vantagem (Belingham & Sparrow, 2000). Assim, segundo esses autores o dano parcial é menos danoso para plantas jovens e o dano total causa menor prejuízo à plantas maduras. Entretanto, a perda de parte aérea de indivíduos maiores de espécies arbóreas de Cerrado pode não ser rapidamente recuperada, tornando-os mais vulneráveis à queimadas subsequentes (Hoffmann & Solbrig, 2003; Medeiros & Miranda, 2005).

É evidentemente vantajoso a qualquer espécie que tenha sobrevivido ao fogo ter acesso imediato a uma grande quantidade de energia disponível para manter o que restou do corpo da planta, reiniciar o crescimento radicular e estabelecer nova superfície fotossintética que auxilie no processo de regeneração do indivíduo (Bowen & Pate, 1993), e especialmente no Cerrado onde a disponibilidade de nutrientes nos solos é baixa (Haridasan, 1992). A habilidade das espécies arbóreas de Cerrado em se tornarem grandes o bastante para evitar sofrer danos pelo fogo e morte da parte aérea é, ao menos em parte, dependente de disponibilidade de nutrientes no solo (Hoffmann et al., 2012; Silva et al., 2013). Tal habilidade diminui a probabilidade de sofrer danos mais severos em um novo evento de queima (Kellman, 1984). Assim, um ambiente mais rico em recursos pode permitir taxas de crescimento mais altas e recuperação mais rápida após o fogo (Knox & Clarke, 2011). Nesses casos sendo a rebrota uma estratégia de reocupação frequente (Clarke et al., 2005), o crescimento das rebrotas será mais rápido e a planta alcançará mais rapidamente o tamanho pré-fogo ou poderá ultrapassá-lo em condições de solo fértil (Grady & Hoffmann, 2012). Adicionalmente, a produção de rebrotas em espécies lenhosas representa alto consumo de nutrientes para a reposição da parte vegetativa da planta (Miyaniishi & Kellman, 1986; Sato et al., 2010) e depende de recursos armazenados nas raízes, como carbono não estrutural (Belingham & Sparrow,

2000; Bond & Midgley, 2001; Knox & Clarke, 2005; Schutz et al., 2009). Assim, as espécies do estrato arbóreo de Cerrado vão necessitar de maior disponibilidade de nutrientes para repor rapidamente a copa ou para rebrotar após as queimadas (Franco, 2005).

Muitos estudos têm avaliado os padrões de rebrotamento de espécies arbóreas do bioma Cerrado sob diferentes regimes de queima (Ramos 1990; Salomão & Leite, 1992; Cardinot, 1998; Medeiros, 2002; Sato, 2003; Medeiros & Miranda, 2005; Vale & Lopes, 2010; Ribeiro et al., 2012) ou a resposta de espécies à um evento de queima (Raw & Hay, 1985; Vieira et al, 1996; Hoffman & Solbrig, 2003; Hoffmann et al., 2009; Silva et al., 2009, Jancoski, 2010). Menos comuns são os estudos que avaliam a interação entre variáveis, como o tamanho dos indivíduos antes do fogo e a fertilidade do ambiente, sobre padrões de rebrota de espécies lenhosas, e que comparam as contribuições das rebrotas basais e apicais para a recuperação pós-fogo das espécies arbóreas de Cerrado. Assim, esse trabalho objetivou verificar como a adição de nutrientes, altura e diâmetro dos indivíduos e severidade causada pelo fogo influenciam o número e o tipo de rebrotas de três espécies arbóreas de Cerrado ao longo de um ano após a passagem do fogo. Esperava-se que plantas maiores em diâmetro produziram mais rebrotas apicais e que plantas pequenas produziram mais rebrotas basais. Além disso, indivíduos em áreas fertilizadas deveriam rebrotar mais quando comparados com indivíduos não fertilizados. Finalmente, quanto maior o dano sofrido pelos indivíduos, maior a capacidade de rebrota.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A região de estudo (Figura 1) localiza-se em área core de Cerrado e é parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Distrital Gama-Cabeça de Veado que perfaz, incluindo a Reserva Ecológica do IBGE (RECOR), um total de 10.000 ha de área protegida contínua (Ribeiro, 2011). A RECOR está localizada 35 km ao sul do centro de Brasília, com coordenadas de 15°55' a 15°58'S, 47°52' a 47°55'W e altitude variando de 1048 a 1160 m. As fitofisionomias de Cerrado presentes na reserva são: campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e cerradão, em um gradiente crescente de biomassa arbórea. Além disso, apresenta também matas, veredas,

brejos e campos úmidos (Ribeiro, 2011). Os solos predominantes são Oxissolos profundos e bem drenados (Ribeiro, 2011). A precipitação, umidade relativa e a temperatura média anuais registradas na estação meteorológica do IBGE de 2010-2012 foram 1418 mm, 67% e 22°C, respectivamente (dados disponíveis em www.recor.org.br). O clima é fortemente sazonal, com uma estação seca que se estende de maio a setembro; os meses de junho a agosto são os mais secos (www.recor.org.br), quando as queimadas são frequentes (Figura 2).



Figura 1. Fotografia da área de estudo, mostrando a área de transição cerrado *sensu stricto* (mais aberta)–mata de galeria (mais densa) antes da passagem do fogo e a localização aproximada das parcelas (em vermelho). (Escala: 1:18700cm, fonte: GoogleEarth)

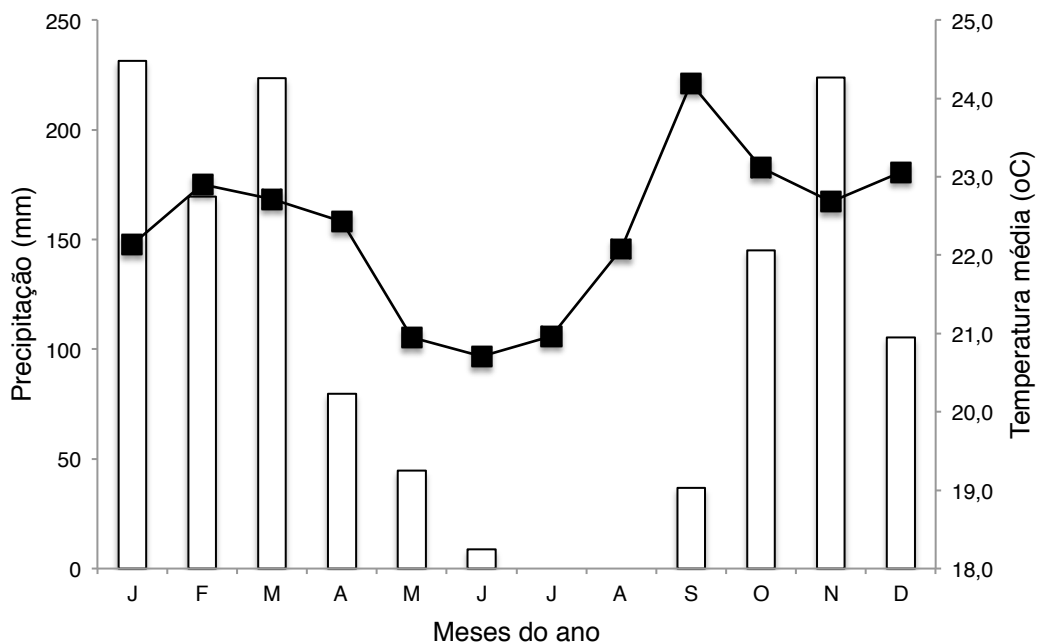


Figura 2. Médias mensais de precipitação (em barras) e temperatura (linha) na Reserva Ecológica do IBGE entre os anos de 2011 a 2013.

Desenho experimental e caracterização dos nutrientes no solo

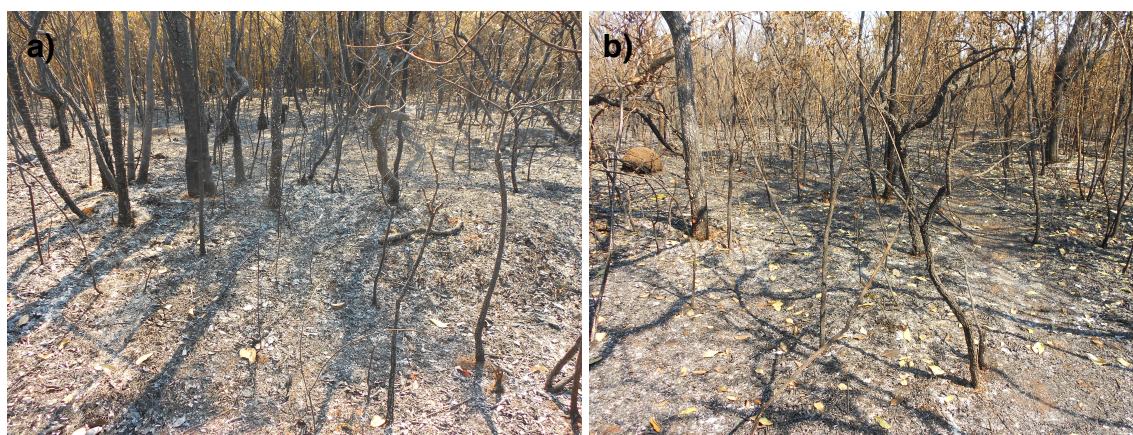
O experimento contou com quatro tratamentos e três replicações (para mais detalhes do experimento ver item “Desenho experimental e caracterização dos nutrientes” no solo na seção “Material e Métodos” do capítulo 1) Os tratamentos foram controle, irrigação na época seca, adição de nutrientes e irrigação com adição de nutrientes.

A adição de nutrientes foi feita no início e final da estação chuvosa e a aplicação de calcário dolomítico foi feita no início da mesma estação, ambas realizadas desde 2005 e a lanço para assegurar distribuição uniforme dos fertilizantes. Uma queimada ocorrida em 2011 que se estendeu por toda a área amostral e inutilizou o sistema de irrigação, impediu a continuidade da irrigação que se realizava anualmente durante o período de maio a setembro. Contudo, mesmo após a passagem do fogo as parcelas continuaram a ser adubadas seguindo a programação anual de adubação.

Para este capítulo foram estudadas unicamente as plantas localizadas em subparcelas de cerrado fertilizadas (totalizando nove subparcelas) e em subparcelas controle (nove).

Fogo

Em 09 de setembro de 2011 um incêndio atingiu a reserva do IBGE. O Correio Braziliense de 10 de setembro de 2011 destaca que a área atingida pelo fogo “é superior a 5 mil hectares, maior do que toda a reserva do Jardim Botânico, e atinge as áreas de proteção do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a fazenda Água Limpa, da Universidade de Brasília (UnB)”. Segundo o Jornal O Estado de São Paulo da mesma data “uma das áreas mais devastadas pelo fogo foi a reserva ecológica do IBGE, que tem 1,3 mil hectares. De acordo com o mesmo jornal, “por volta das 12 horas, o fogo começou a crescer e chegou até a estrada, a BR-251, que corta a região. Carros e motos tiveram de desviar das labaredas às margens da rodovia. Os bombeiros desistiram de tentar apagar o fogo por terra e pediram ajuda aérea.” Desde 1974 a Reserva não sofria os efeitos de uma queima tão severa (Ribeiro, 2011). O fogo atingiu as áreas de cerrado *sensu stricto* onde o experimento está instalado, como nos evidenciam as fotos tiradas quatro dias após o fogo (Figura 3). O registro de indivíduos arbóreos de diversas espécies de Cerrado indicou que em média 63% da altura do tronco foi atingida pelas chamas, com muitos indivíduos totalmente queimados. Todos os indivíduos arbóreos que não tiveram suas copas consumidas pelo fogo perderam suas folhas após a queima.



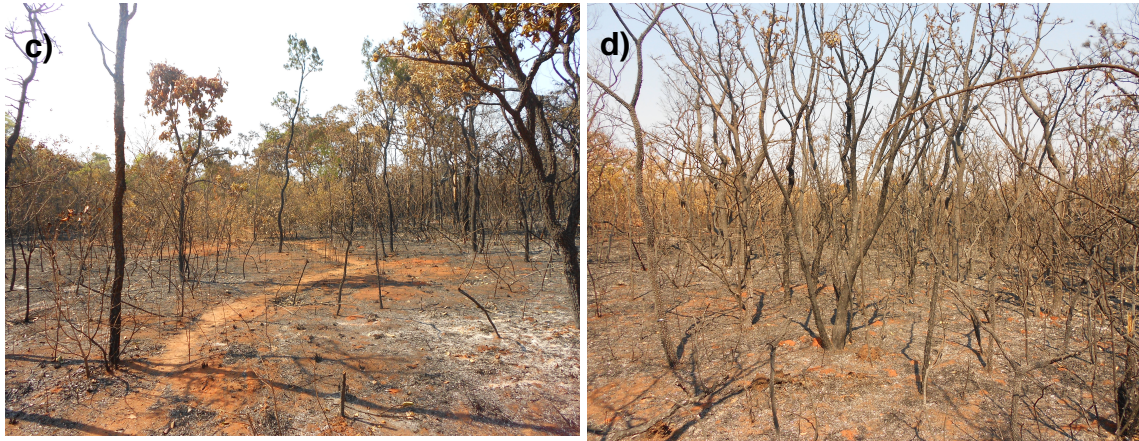


Figura 3. Imagens da área de estudo após a passagem do fogo. As imagens (a) e (b) mostram que toda a cobertura herbácea foi queimada e a grande quantidade de cinzas sobre o solo. As imagens (c) e (d) mostram que muitos indivíduos arbóreos também queimaram suas copas e perderam parte ou a totalidade de suas folhas. (Fonte: Klécia Gili Massi, 12/09/11)

Espécies estudadas

As espécies *Dalbergia miscolobium*, *Eriotheca pubescens* e *Guapira noxia* foram as espécies mais abundantes nas parcelas e por isso foram selecionadas para este estudo.

Dalbergia miscolobium Benth. (Fabaceae) é uma espécie arbórea típica e abundante dos Cerrados do Planalto Central (Fonseca & Silva-Júnior, 2004), popularmente conhecida como jacarandá-do-cerrado ou sapurussu, cuja distribuição compreende desde o estado do Piauí até o Paraná. Os indivíduos em geral apresentam um comportamento brevidecídulo característico, com caducifolia total e renovação de folhas limitada a duas semanas, geralmente entre agosto e setembro (Lenza & Klink, 2006). Normalmente, floresce ao final da estação chuvosa, passando grande parte da estação seca na fase de formação e amadurecimento dos frutos, que são dispersos pelo vento ao final desta estação (Braz et al., 2009).

Eriotheca pubescens (Malvaceae) é uma espécie arbórea comum de áreas de Cerrado no Planalto Central (Oliveira et al., 1992), popularmente conhecida como paineira do cerrado, colher de vaqueiro ou embiruçu peludo, ocorrendo do Maranhão ao norte de São Paulo e da Bahia ao Mato Grosso, floresce de maio a julho produzindo flores brancas e de perfume adocicado (Mendes-Rodrigues et

al., 2005). Os frutos são cápsulas deiscentes que liberam sementes envoltas por tufo de algodão que são dispersos pelo vento entre setembro e outubro (Oliveira et al., 1992).

Guapira noxia (Nyctaginaceae) é uma espécie frequente no Cerrado, conhecida como maria-mole, guapira do cerrado ou capa-rosa, tendo sido registrada em áreas de Cerrado e floresta estacional semidecidual nos estados da região centro-oeste do Brasil, é decídua, floresce entre maio e outubro e lança seus frutos zoocóricos em novembro (IBAMA, Resolução SMA 47).

Coleta de dados

Das três espécies acima descritas, 56 indivíduos foram acompanhados após o fogo para *E. pubescens* (31 indivíduos nas áreas fertilizadas e 25 nas controle), 30 de *D. miscolobium* (5 indivíduos nas áreas fertilizadas e 25 nas controle) e 16 (7 indivíduos nas áreas fertilizadas e 9 nas controle) de *G. noxia*. O diâmetro dos indivíduos variou entre 3,2 a 24 cm e a altura variou entre 1 e 6,5 m.

Em cada indivíduo foram medidas a altura em que o tronco ficou enegrecido pelo fogo, a circunferência e altura do indivíduo, e foram quantificadas a intensidade de rebrota aérea e o número de rebrotas basais. A quantificação da intensidade de rebrota aérea e basal se deu no início e fim da estação chuvosa logo após o fogo, na estação seca seguinte e na estação chuvosa um ano após o fogo (respectivamente: 25/10/11, 13/02/12, 01/07/12 e 31/11/12). A intensidade de rebrota aérea foi definida pelo nível de produção de novas folhas após o fogo e foi quantificada em cada indivíduo utilizando-se uma escala de cinco categorias: 0, 1, 2, 3 e 4 (sendo 0 = ausência de folhas; 1 = presença de folhas na copa com magnitude entre 1 e 25%; 2 = entre 26 e 50%; 3 = entre 51 e 75% e 4 = entre 76 e 100%) segundo o método de Fournier (1974). A produção de rebrotas basais foi quantificada contando-se o número de rebrotas na base do caule de cada indivíduo.

A partir da altura do tronco remanescente que ficou enegrecido pelo fogo e da altura total de cada indivíduo, calculei a porcentagem do indivíduo que foi afetado pelo fogo e a isso chamei dano (Kauffman, 1991). A resposta dos indivíduos ao dano foi relativa às quantificações realizadas no final da estação

chuvosa, desse modo as plantas tiveram toda a estação de crescimento para o desenvolvimento de rebrotas aéreas e basais. Com relação à classificação por tamanho, dividi a amplitude de distribuição de diâmetro em duas classes: pequena (3,2 a 13,6 cm de diâmetro) e intermediária (13,7-24 cm). Tal divisão, baseada no critério matemático do centro da variação de todos os diâmetros coletados, coloca os indivíduos acima de 13,7 cm em uma classe de tamanho que seria menos afetada pelo fogo, o que é corroborado por Hoffmann & Solbrig (2003) onde as espécies experimentam menos de 30% de probabilidade de *morte da parte aérea* se acima de 12,8 cm de diâmetro.

Análises Estatísticas

Os dados foram testados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e mesmo a transformação por diferentes métodos (log normal, log neperiano, log na base 10, 1/valor) não garantiu a normalidade. Assim, testes não paramétricos foram utilizados em todas as análises estatísticas deste trabalho.

Para testar a diferença entre o dano, a intensidade de rebrota apical e o número de rebrotas basais entre as espécies e tratamentos usei o teste de Wilcoxon ao nível de 5% de probabilidade. Para testar a associação entre as variáveis-resposta: intensidade de rebrota apical e número de rebrotas basais e as variáveis explicativas: altura, diâmetro, dano e intensidade de folhas antes do fogo, usei correlação de Spearman. A comparação par-a-par com teste de Wilcoxon foi usada para testar a diferença entre as intensidades de rebrota apical ao longo do tempo e também entre o número de rebrotas basais ao longo de tempo. Todas as análises foram rodadas no programa JMP Pro 10.0.

RESULTADOS

D. miscolobium e *E. pubescens* apresentaram mais indivíduos de menor porte e *G. noxia* só possuiu indivíduos pequenos na área amostral (Tabela 1). A maioria dos indivíduos de *D. miscolobium* e *E. pubescens* apresentaram rebrotas apicais, seguidos por indivíduos com rebrotas apicais e basais e apenas basais; já *G. noxia* apresentou mais indivíduos com rebrotas basais e basais e apicais (Tabela 1). Dois indivíduos morreram após o fogo (Tabela 1).

O dano causado pelo fogo foi maior em *G noxia* e não diferiu entre *Eriotheca* e *Dalbergia* ($\chi^2=6,5547$; $p=0,0377$; Tabela 1). O número de rebrotas basais não diferiu entre as espécies ($\chi^2=0,5890$; $p=0,7449$), enquanto a intensidade de rebrota apical foi maior em *E. pubescens* ($\chi^2=27,4817$; $p<0,0001$; Tabela 1).

Tabela 1. Número de indivíduos, amplitude de diâmetro e altura, tipo de rebrota, dano, número de rebrotas basais e intensidade de rebrotas apicais para as espécies. A produção de rebrotas aérea e basal refere-se à quantificação realizada em 13/02/12.

Espécie	<i>Dalbergia miscolobium</i>	<i>Eriotheca pubescens</i>	<i>Guapira noxia</i>
Número de indivíduos	29p (97%) 1i (3%)	35p (63%) 21i (37%)	16p (100%)
Amplitude de diâmetro (cm)	5-24	4-22	5-13
Amplitude de altura (m)	3-6	2-7	1-4
Tipo de rebrota	14A (47%) 7B (23%) 9B e A (30%)	33A (59%) 4B (7%) 18B e A (32%)	3A (18%) 6B (38%) 6B e A (38%)
Dano	0,44 (0,32;0,75) a	0,69 (0,40;0,87) a 1M	0,89 (0,62;1,00) b 1M
Número de rebrotas basais por indivíduo	3 (1;6) a	3 (1;5) a	3 (1;4) a
Intensidade de rebrotas apicais	3 (0;3) a	4 (3;4) b	2 (0;3) a

Os valores de dano, rebrotas basal e apical são apresentados em mediana com os quartis inferior e superior. Medianas seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Wilcoxon ($p>0,05$). Em número de indivíduos, p=pequeno, i=intermediário. Em tipo de rebrota, A=apical, B=basal, B e A=basal e apical. Em dano, M=mortos. Em intensidade de rebrotas apicais, 0 = ausência de folhas; 1 = presença de folhas com magnitude entre 1 e 25% da copa; 2 = entre 26 e 50%; 3 = entre 51 e 75% e 4 = entre 76 e 100%.

O número de rebrotas basais relacionou-se positivamente com o nível de dano causado pelo fogo ($\rho=0,5446$; Figura 4a), e a intensidade de rebrotas apicais relacionou-se positivamente com a altura ($\rho=0,4157$), diâmetro ($\rho=0,6071$; Figura 4b) e intensidade de folhas antes do fogo ($\rho=0,5255$) (Tabela

2). A produção de folhas e número de rebrotas basais foi negativamente relacionada ($\rho=-0,3611$; $p=0,0100$).

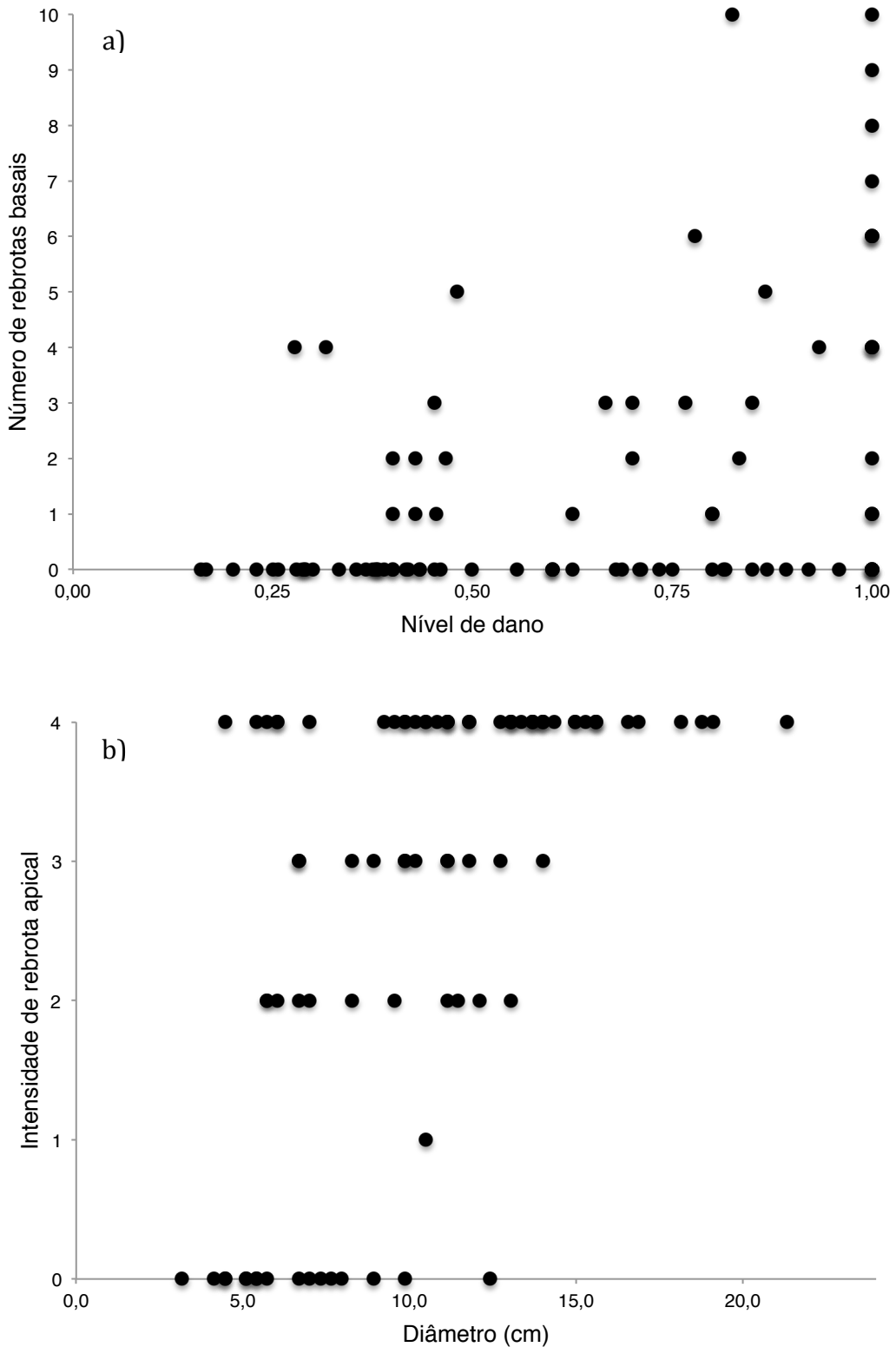


Figura 4. Relação entre nível de dano e número de rebrotas basais (a) e entre diâmetro do indivíduo e intensidade de rebrota apical (0 = ausência de folhas; 1

= presença de folhas com magnitude entre 1 e 25% da copa; 2 = entre 26 e 50%; 3 = entre 51 e 75% e 4 = entre 76 e 100%) para os indivíduos de *Dalbergia miscolobium*, *Eriotheca pubescens* e *Guapira noxia*.

Nenhum parâmetro de *D. miscolobium* e *G. noxia* foi associado com as variáveis resposta (Tabela 2). Para *E. pubescens* altura e diâmetro foram associadas com ambas as rebrotas basal e apical (Tabela 2). Se a altura ($\rho=-0,5084$) e o diâmetro ($\rho=-0,5615$) foram negativamente associadas com a quantidade de rebrotas basais, o inverso ocorreu para a intensidade de rebrotas aéreas (diâmetro: $\rho=0,5516$ e altura $\rho=0,4906$) (Tabela 2). O dano causado pelo fogo se associou forte e positivamente à quantidade de rebrotas basais ($\rho=0,7612$), enquanto a quantidade de folhas antes do fogo foi associada à intensidade de rebrota apical ($\rho=0,4045$) para essa mesma espécie (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de p para as correlações de Spearman entre as variáveis respostas (número de rebrotas basais e intensidade de rebrotas apicais) e as variáveis explicativas (altura, diâmetro, dano e intensidade de folhas antes do fogo) para todas as espécies e dentro de cada espécie.

	Todas as espécies		<i>Dalbergia miscolobium</i>		<i>Eriotheca pubescens</i>		<i>Guapira noxia</i>	
	basal	apical	basal	apical	basal	apical	basal	apical
Altura	0,2728	<0,0001*	0,7771	0,3915	0,0186*	<0,0001*	0,4874	0,6150
Diâmetro	0,0561	<0,0001*	0,7795	0,0706	0,0081*	0,0001*	0,2351	0,0905
Dano	0,0002*	0,1013	0,2363	0,1152	<0,0001*	0,2714	0,1296	0,1768
Folhas antes do fogo	0,2099	<0,0001*	0,7594	0,2811	0,0509	0,0024*	0,7266	0,3970

Valores seguidos por asterico e em negrito são significativos.

Em relação aos tratamentos, os tipos de rebrotas seguiram o padrão de predominância de rebrotas apicais e foram muito semelhantes entre si. O nível de dano ($\chi^2=0,3775$; $p=0,5389$) e as rebrotas basal ($\chi^2=1,8734$; $p=0,1711$) e apical ($\chi^2=0,0911$; $p=0,7627$) não diferiram entre plantas fertilizadas e não fertilizadas (Tabela 3). Os dois indivíduos mortos (um de *E. pubescens* e um de *G. noxia*) estavam na área sujeita à adição de nutrientes (Tabela 3).

Tabela 3. Número de indivíduos, tipo de rebrota, dano, número de rebrotas basais e intensidade de rebrotas apicais para os tratamentos. A produção de rebrotas aérea e basal refere-se à quantificação realizada em 13/02/12.

Espécie	controle	nutrientes
Número de indivíduos	59	43
Tipo de rebrota	29A 9B 21B e A	21A 8B 12B e A
Dano	0,62 (0,40;0,83) a	0,71 (0,39; 1,00) a 2M
Número de rebrotas basais por indivíduo	2 (1;4) a	4 (1;6) a
Intensidade de rebrotas apicais	3 (2;4) a	3 (1;4) a

Os valores de dano, rebrotas basal e apical são apresentados em mediana com os quartis inferior e superior. Medianas seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Wilcoxon ($p > 0,05$). Em tipo de rebrota, A=apical, B=basal, B e A=basal e apical. Em dano, M=mortos. Em intensidade de rebrotas apicais, 0 = ausência de folhas; 1 = presença de folhas com magnitude entre 1 e 25% da copa; 2 = entre 26 e 50%; 3 = entre 51 e 75% e 4 = entre 76 e 100%.

No que se refere aos tratamentos, a produção de folhas das plantas em áreas controle e com adição de nutrientes tiveram resultados semelhantes, ou seja foram associadas positivamente com a altura (controle: $\rho=0,4486$ e nutrientes: $\rho=0,3804$) o diâmetro (controle: $\rho=0,6784$ e nutrientes: $\rho=0,5025$) e intensidade de folhas antes do fogo (controle: $\rho=0,5155$ e nutrientes: $\rho=0,5182$) de seus indivíduos (Tabela 4). Em relação ao número de rebrotas basais, houve associação positiva com o dano na área controle ($\rho=0,4068$) e fertilizada ($\rho=0,7001$) (Tabela 4). Adicionalmente a quantidade de rebrotas basais na área sujeita à adubação se associou negativamente ao diâmetro do indivíduo ($\rho=-0,5513$) (Tabela 4). A relação entre as variáveis produção de folhas e rebrotas foi significativa para plantas em área controle ($\rho=-0,4111$), mas não para plantas em área adubada.

Tabela 4. Valores de p para as correlações de Spearman entre as variáveis respostas (número de rebrotas basais e intensidade de rebrotas apicais) e as

variáveis explicativas (altura, diâmetro, dano e intensidade de folhas antes do fogo) entre os tratamentos.

	controle		nutrientes	
	basal	apical	basal	apical
Altura	0,5134	0,0004*	0,2736	0,0155*
Diâmetro	0,2479	<0,0001*	0,0218*	0,0011*
Dano	0,0436*	0,2590	0,0012*	0,2167
Folha antes do fogo	0,1470	0,0002*	0,7749	0,0005*

Valores seguidos por asterico e em negrito são significativos.

Ao longo do tempo, o número total de rebrotas basais caiu devido à mortalidade das mesmas (Figura 5); 1 ano após sua produção a quantidade de rebrotas basais de *D. miscolobium*, *E. pubescens* e *G. noxia* foi menor do que o número de rebrotas nos outros levantamentos ($p=0,0098$, $p=0,0042$; $p=0,0195$ respectivamente para as três espécies).

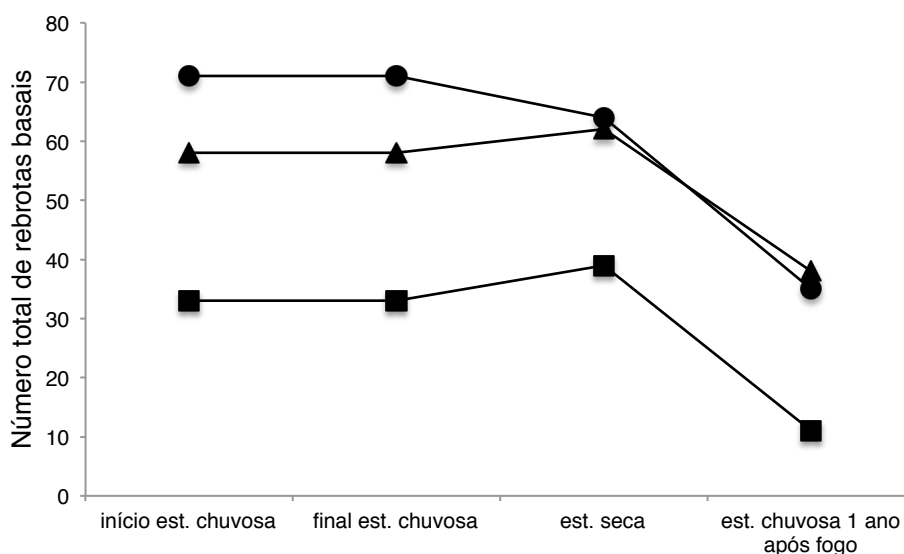


Figura 5. Número total de rebrotas basais ao longo do tempo (triângulo: *D. miscolobium*; círculo: *E. pubescens*; quadrado: *G. noxia*).

Eriotheca pubescens um ano após o fogo teve menos folhas quando comparada com as outras datas de levantamento ($p=0,0005$); as outras duas espécies não diferiram ao longo do tempo ($p=0,0918$ para *Dalbergia* e $p=0,6094$ para *Guapira*; Tabela 5).

Tabela 5. Intensidade de rebrota apical em geral e dentro de cada espécie.

espécies	início chuva	final chuva	seca	1 ano após o fogo
Todas as espécies	3 (2;4) a	3 (2;4) a	3 (0;4) a	3 (1;4) a
<i>D. miscolobium</i>	2 (0;3) a	3 (0;3) a	2 (0;3) a	3 (0;3) a
<i>E. pubescens</i>	4 (3;4) a	4 (3;4) a	4 (3;4) a	3 (2;4) b
<i>G. noxia</i>	2 (0;3) a	2 (0;3) a	2 (0;3) a	2 (0;4) a

Os valores são apresentados em mediana com os quartis inferior e superior. Medianas seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Wilcoxon ($p > 0,05$).

DISCUSSÃO

A maior parte dos indivíduos das três espécies estudadas esteve na menor classe de tamanho, incluindo os dois indivíduos mortos. Andrade et al. (2002), estudando uma comunidade de cerrado denso na Reserva do IBGE, encontraram a distribuição de diâmetros dos indivíduos arbóreos em forma de J invertido, ou seja, predominância de indivíduos jovens (90% dos indivíduos apresentaram diâmetro máximo de 13 cm). O mesmo resultado foi observado por Roitman et al. (2008) em um comunidade de cerrado *sensu stricto*. A área estava protegida do fogo há cerca de 37 anos e a elevada presença de indivíduos jovens sugere colonização recente e ressalta a importância do fogo pois aumenta a propensão à mortalidade desses indivíduos. Nesse sentido Moreira (2000) e Silva et al. (2009) apontaram que o número de indivíduos de espécies de Cerrado nas menores classes de tamanho é sempre mais alto em fisionomias não protegidas do que em protegidas do fogo.

Guapira noxia teve o maior nível de dano comparado com o das outras duas espécies e rebrotou principalmente a partir da base, assim como registrado para *Eucalyptus globulus* (Catry et al., 2013). Embora o número de rebrotas basais não tenha se relacionado ao nível de dano para essa espécie, a estratégia de rebrotar à partir da base ou de gemas subterrâneas é uma estratégia de reação a um dano mais severo (Del Tredici, 2001) e comum em indivíduos de porte reduzido (Medeiros, 2002; Jancosky, 2010; Vale & Lopes, 2010; Ribeiro et al., 2012). Em *Dalbergia* e *Eriotheca* o lançamento de novas folhas foi a resposta de recuperação pós-fogo ao menor nível de dano e *E. pubescens* produziu mais folhas do que as outras espécies. Segundo Belingham & Sparrow (2000) um distúrbio menos severo faz com que as plantas reponham o tecido perdido

através da rebrota de gemas axilares. Medeiros (2002) observou que houve predominância de indivíduos lenhosos com dano parcial da copa e rebrota aérea em uma área de campo sujo sujeita à queima. O mesmo resultado foi observado por Ribeiro et al. (2012) em comunidade de *cerrado sensu stricto*. Rebrotas aéreas podem significar que o câmbio e as gemas estão sendo efetivamente protegidos (Del Tredici, 2001), especialmente para essas duas espécies que tiveram indivíduos de maior porte. A alta intensidade de folhas em indivíduos de maior porte sugere que indivíduos maiores acumulam mais reservas e as investem na recuperação de suas copas após a passagem do fogo.

O número de rebrotas basais por indivíduo não foi diferente entre as espécies estudadas. Outros estudos mostram uma produção muito variada de rebrotas entre as espécies: Salomão & Leite (1992) apresentam de 1,7 a 2 regenerantes por indivíduo de *Astronium urundeuva*, Catry et al. (2013) encontraram até 21 rebrotas por indivíduo em uma espécie de eucalipto e Jancosky (2010) aponta alta diversificação entre as espécies lenhosas de Cerrado em área de campo de murundus, com o máximo de 10 rebrotas/indivíduo em *Tapirira guianensis*.

Diâmetro, altura e intensidade de folhas antes do fogo relacionaram-se positivamente à intensidade de folhas após o fogo para todos os indivíduos. Tais atributos se inter-relacionam e determinam o tamanho do indivíduo. A influência do tamanho na capacidade de rebrota aérea de espécies de Cerrado corrobora os resultados de outros estudos (Hoffmann & Solbrig, 2003; Medeiros & Miranda, 2005, Vale & Lopes, 2010; Ribeiro et al., 2012). O tamanho da planta antes da queima é importante no crescimento (Frost & Robertson, 1987) e na determinação da produção de biomassa aérea pós-fogo (Lloret & López-Soria, 1993). Maiores tamanhos são associados com gemas apicais posicionadas acima da altura da chama e casca mais grossa (Hoffmann & Solbrig, 2003) e tal proteção confere aos indivíduos de maior porte elevada produção de rebrotas aéreas. Também em plantas de maior tamanho, o sistema radicular proporciona acesso a uma área mais ampla de absorção de nutrientes (Kennard et al., 2002).

O nível de dano relacionou-se positivamente ao número de rebrotas basais. Ramos (1990) mostrou que para árvores e arbustos de Cerrado quanto maior o nível do dano ao caule, maior o número de rebrotas basais. O mesmo

resultado foi encontrado por Catry et al. (2013) para uma espécie de eucalipto. Portanto, um dos principais efeitos da destruição da parte aérea de plantas lenhosas de Cerrado é a indução do entouceiramento. Quando avaliadas por espécies separadamente, as rebrotas basal e apical da espécie de Fabaceae e Nyctaginaceae não mostraram associações com os parâmetros quantificados, o que sugere que outros fatores tais como espessura de casca, processos competitivos relacionados à proximidade de indivíduos vizinhos podem influenciar nos padrões de rebrota aérea e basal. Já para *Eriotheca pubescens* maior altura, diâmetro e mais folhas antes do fogo se associaram a mais folhas depois do fogo e maior nível de dano relacionou-se a maior número de rebrotas basais. Além disso, para essa espécie, maiores diâmetro e altura são indicativos de menores números de rebrotas basais.

Com a queima das folhas, galhos, flores e frutos das árvores, os nutrientes são transferidos do componente arbustivo-arbóreo para as plantas herbáceas, dotadas de sistema radicular superficial (Cavalcanti, 1978; Coutinho, 1982). Além disso, a produção e o alongamento de rebrotas consome grandes quantidades de fotossintatos e elementos minerais seriam recursos limitantes a esses processos, conforme Schutz et al. (2009) observaram para *Acacia karroo* e Miyanishi & Kellman (1986) para *Miconia albicans* e *Cildemia sericea*. Adicionalmente, a recuperação da copa consome elevada quantidade de reservas (Schutz et al., 2011). Assim, parece evidente que a disponibilidade de nutrientes seria um fator limitante à recuperação pós-fogo de plantas do Cerrado. Cardinot (1998) relaciona as mortes de indivíduos de *Roupala montana* com a deficiência nutricional, pois logo após o rebrotamento indivíduos apresentaram sintomas de clorose. Knox & Clarke (2011) quantificaram o volume de rebrotas em áreas de floresta seca e úmida após a passagem do fogo e encontraram que nas áreas de floresta úmida, mais ricas em nutrientes no solo, as espécies tiveram maior biomassa seca. No entanto, a adição de nutrientes não promoveu aumento no número de rebrotas basais ou na intensidade de rebrotas aéreas nas espécies estudadas. Todavia, se espécies rebrotadoras ocorrem mais provavelmente em solos pobres em nutrientes (Lawes & Clarke, 2011), a maior disponibilidade de nutrientes pode não afetar a produção de rebrotas, mas ser destinada a órgãos

de reserva. Knox & Clarke (2005) mostraram que espécies rebrotadoras tem alta capacidade de formação de reservas quando os nutrientes estão disponíveis.

Devido à mortalidade, o número de rebrotas um ano após o fogo caiu para todas as espécies estudadas. *Styrax ferugineus* não apresentou queda no número de indivíduos com rebrotas até nove meses após o fogo (Medeiros, 2002) e *Kielmeyera coriacea* iniciou a senescência de suas rebrotas 14 meses após o fogo (Cardinot, 1998). Kauffman (1991) verificou que a morte de rebrotas ocorreu rapidamente conforme a floresta se recuperou. A recuperação das folhas na copa que ocorreu durante toda a estação chuvosa e o esgotamento dos recursos, como consequência dessa recuperação, pode ter causado a supressão das rebrotas basais. Também a competição entre as rebrotas por uma líder e a competição por luz com gramíneas ou com outras plantas vizinhas pode influenciar a mortalidade de rebrotas basais (Kauffman, 1991; Vila & Terradas, 1995). A intensidade de folhas não mudou ao longo de todo período de estudo. Tipicamente o fogo remove quase todas as folhas das espécies presentes e a rebrota aérea que ocorre rapidamente na estação chuvosa resulta em elevada produção de folhas novas (Vieira et al., 1996, Franco, 1998). *Eriotheca pubescens* um ano após o fogo apresentou menos folhas. Ao final da estação seca essa espécie está dispersando seus frutos e a condição de copa menos densa favorece o lançamento dos frutos anemocóricos plumosos (Oliveira & Moreira, 1992).

Nossos resultados espécie-específicos podem ser explicados pelos diferentes estados fenológicos das espécies quando da passagem do fogo (Drewa et al. 2002): *Dalbergia* estava trocando suas folhas, *Eriotheca* amadurecendo e dispersando os frutos e *Guapira* possuía flores. De acordo com Malanson & Trabaud (1988) o crescimento pós-fogo de rebrotas de *Quercus coccifera* é condicionado pelo estado fisiológico da planta quando da passagem do fogo. Todavia Hoffmann & Solbrig (2003) não observaram relação entre o estado fenológico pré-fogo (especialmente quanto à presença de folhas) e o crescimento de rebrotas de espécies arbustivas e arbóreas de Cerrado. Esses estudos devem ser considerados com cautela, pois avaliam o efeito de variáveis diversas sobre o crescimento e biomassa das rebrotas, mas não consideram tipos diferentes de rebrotas.

Embora Silva & Batalha (2009) tenham concluído que espécies arbóreas de Cerrado ocorrendo numa mesma comunidade e sujeitas à condições semelhantes dividem características fenotípicas devido ao processo de filtragem ambiental, a resistência ao fogo depende de uma combinação de características que podem variar entre as espécies. Além disso, variações locais e temporais nas características do fogo (intensidade e frequência) podem dar origem a diferentes respostas, pois condições que beneficiam espécies em algumas situações, não são as mesmas de outro período (Whittaker, 1975; Gowe & Brewer, 2005). Nesse sentido, Medeiros (2002) salienta que as espécies presentes em uma área de campo sujo apresentaram padrões diferentes de resposta ao fogo.

CONCLUSÕES

Para as três espécies estudadas, o tamanho do indivíduo é mais importante na determinação da intensidade de rebrotas aéreas e o nível de dano, na determinação da quantidade de rebrotas basais, mostrando que a resposta ao fogo das espécies arbóreas pode diferir no que se refere ao tipo de rebrota produzida. Apesar da aparente restrição nutricional imposta às espécies do Cerrado, a produção de rebrotas aéreas e basais nas três espécies arbóreas estudadas não aumentaram em resposta a um aumento na disponibilidade de nutrientes minerais no solo pela aplicação de fertilizantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, L.A.Z.; Felfili, J.M. & Violatti, L. 2002. Fitossociologia de uma área de cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília-DF. *Acta Botanica Brasílica* 16(2):225-240.
- Bellingham, P.J. & Sparrow, A.D. 2000. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. *Oikos* 89:409–416.
- Bond, W.J. & Midgley, J.J. 2001. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *Trends in Ecology & Evolution* 16:45–51.
- Bond, W.J.; Midgley, G.F. & Woodward, F.I. 2003. The importance of low atmospheric CO₂ and fire in promoting the spread of grasslands and savannas. *Global Change Biology* 9:973–982.

- Bowen, B.J. & Pate, J.S. 1993. The significance of root starch in post-fire shoot recovery of the resprouter *Stirlingia latifolia* R. Br. (Proteaceae). *Annals of Botany* 72:7-16.
- Cardinot, G.K. 1998. Efeitos de diferentes regimes de queimas nos padrões de rebrotamento de *Kielmeyera coriacea* Mart. e *Roupala montana* Aubl., duas espécies típicas do cerrado. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Catry, F.X.; Moreira, F.; Tujeira, R. & Silva, J.S. 2013. Post-fire survival and regeneration of *Eucalyptus globulus* in forest plantations in Portugal. *Forest Ecology and Management* 310:194–203.
- Cavalcanti, L.H. 1978. Efeito das cinzas resultantes da queimada sobre a produtividade do estrato herbáceo subarbustivo do cerrado de Emas. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Cirne, P. & Scarano, F.R. 2001. Resprouting and growth dynamics after fire of the clonal shrub *Andira legalis* (Leguminosae) in a sandy coastal plain in south-eastern Brazil. *Journal of Ecology* 89:351–357.
- Clarke, P.J.; Knox, K.J.E.; Wills, K.E. & Campbell, M. 2005. Landscape patterns of woody plant response to crown fire: disturbance and productivity influence sprouting ability. *Journal of Ecology* 93:544-555.
- Clarke, P.J.; Lawes, M.J. & Midgley, J.J. 2010. Resprouting as a key functional trait in woody plants – challenges to developing new organizing principles *New Phytologist* 188: 651–654.
- Coutinho, L.M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (Eds.) *Ecology of tropical savannas*. Springer-Verlag. Berlin. pp:273-291.
- Del Tredici, P. 2001. Sprouting in Temperate Trees: A Morphological and Ecological Review. *Botanical Review* 67(2):121-140.
- Drewa, P.B.; Platt, W.J. & Moser, E.B. 2002. Fire Effects on Resprouting of Shrubs in Headwaters of Southeastern Longleaf Pine Savannas. *Ecology* 83(3):755-767
- Ferraz-Vicentini, K.R. & Salgado-Labouriau, M.L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brasil. *Journal of South American Earth Sciences* 9:207-219.

- Fiedler, C.N.; Azevedo, I.N.C.; Resende, A.V.; Medeiros, M.B. & Venturoli, F. 2004. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado *Sensu Stricto* na Fazenda Água Limpa - DF. *Revista Árvore* 28(1):129-138.
- Fonseca, M.S. & Silva Junior, M.C. 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(1):19-29.
- Franco, A.C. 1998. Seasonal Patterns of Gas Exchange, Water Relations and Growth of *Roupala Montana*, an Evergreen Savanna Species. *Plant Ecology* 136(1):69-76.
- Franco, A.C. 2005. Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do cerrado.. In: Scariot, A.; Felfili, J.M. & Sousa-Silva, J.C. (Eds). *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Ministério de Meio Ambiente, Brasília.pp:179-196.
- Frost, P.G.H. & Robertson, F. 1987. The ecological effects of fire in savannas. In: Walker, B.H. (Ed.) *Determinants of tropical savannas*. IUBS Monograph Series 3. IRL Press. Oxford.pp:93-140.
- Geiger, E.L.; Gotsch, S.G.; Damasco, G.; Haridasan, M.; Franco, A.C. & Hoffmann, W.A. 2011. Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration under fire suppression in a Brazilian savanna. *Journal of Vegetation Science* 22:312–321.
- Gignoux, J.; Clobert, J. & Menaut, J.C. 1997. Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia* 110:576–583.
- Gowe, A.K. & Brewer, J.S. 2005. The evolution of fire-dependent flowering in goldenasters (*Pityopsis* spp.). *Journal of the Torrey Botanical Society* 132(3):384–400.
- Grady, J.M. & Hoffmann, W.A. 2012. Caught in a fire trap: Recurring fire creates stable size equilibria in woody resprouters. *Ecology* 93(9):2052–2060.
- Guimarães, L.V.; Barberi, M. & Rubin, J.C.R. 2003. Registro de queimadas durante o holoceno, na área de abrangência da bacia hidrográfica do alto curso do rio Meia Ponte – Goiás, Brasil. In: *Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*.

- Haridasan, M. 1992. Observations on soils, foliar nutrient concentrations, and floristic composition of cerrado and cerradão communities in central Brazil. In: Proctor, J.; Ratter, J.A. & Furley, P.A. (Eds.) *The Nature and Dynamics of forest-savanna boundaries*. Chapman & Hall. London. pp.171-184.
- Hayashi, A.H. & Appezzato-da-Glória, B. 2007. Anatomy of the Underground System in *Vernonia grandiflora* Less. and *V. brevifolia* Less. (Asteraceae). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 50(6):979-988.
- Hoffmann, W.A. 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. *Journal of Applied Ecology* 35:422–433.
- Hoffmann, W.A. & Moreira, A.G. 2002. The role of fire in population dynamics of woody plants. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (Eds.) *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press. New York. pp.159–177.
- Hoffmann, W.A. & Solbrig, O.T. 2003. The role of topkill in the differential response of savanna woody plants to fire. *Forest Ecology and Management* 180:273–286.
- Hoffmann, W.A.; Adasme, R.; Haridasan, M.; Carvalho, M.; Geiger, E.L.; Pereira, M.A.B.; Gotsch, C.G. & Franco, A.C. 2009. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of alternate stable states at savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. *Ecology* 90:1326–1337.
- Hoffmann, W.A.; Geiger, E.L.; Gotsch, C.G.; Rossatto, D.R.; Silva, L.R.; Lau, O.L.; Haridasan, M. & Franco, A.C. 2012. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters* 15:759–768.
- Jancosky, H.S. 2010. Efeito do fogo sobre a vegetação arbórea e herbácea em campo de murundus no Parque Estadual do Araguaia-MT. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Kauffman, J.B. 1991. Survival by Sprouting Following Fire in Tropical Forests of the Eastern Amazon. *Biotropica* 23(3):219-224.
- Kellman, M. 1984. Synergistic Relationships Between Fire and Low Soil Fertility in Neotropical Savannas: A Hypothesis. *Biotropica* 16(2): 158-160.

- Kennard, D.K.; Gould, K.; Putz, F.E.; Fredericksen, T.S. & Morales, F. 2002. Effects of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 162:197-208.
- Knox, K.J.E. & Clarke, P.J. 2005. Nutrient availability induces contrasting allocation and starch formation in resprouting and obligate seeding shrubs. *Functional Ecology* 19:690-698.
- Knox, K.J.E. & Clarke, P.J. 2011. Fire severity and nutrient availability do not constrain resprouting in forest shrubs. *Plant Ecology* 212:1967-1978.
- Konstantinidis, P.; Tsiourlis, G. & Xofis, P. 2006. Effect of fire season, aspect and pre-fire plant size on the growth of *Arbutus unedo* L. (strawberry tree) resprouts. *Forest Ecology and Management* 225:359-367.
- Lawes, M.J. & Clarke, P.J. 2011. Ecology of plant resprouting: populations to community. *Plant Ecology* 212:1937-1943.
- Lenza, E. & Klink, C.A. 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Revista Brasileira de Botânica* 29(4):627-638.
- Lloret, F. & López-Soria, L. 1993. Resprouting of *Erica multiflora* after experimental fire treatments. *Journal of Vegetation Science* 4:367-374.
- Malanson, G.P & Trabaud, L. 1988. Vigour of Post-Fire Resprouting by *Quercus coccifera* L. *Journal of Ecology* 76(2):351-365.
- Malanson, G.P & O'Leary, J.F. 1982. Post-Fire Regeneration Strategies of Californian Coastal Sage Shrubs. *Oecologia* 53(3):355-358.
- Medeiros, M.B. 2002. Efeitos do fogo nos padrões de rebrotamento em plantas lenhosas, em campo sujo. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Medeiros, M.B. & Miranda, H.S. 2005. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta Botanica Brasílica* 19(3):493-500.
- Mendes-Rodrigues, C.; Carmo-Oliveira, R.; Talavera, S.; Artista, M.; Ortiz, P.L. & Oliveira, P.E. 2005. Polyembryony and apomixis in *Eriotheca pubescens* (Malvaceae-Bombacoideae). *Plant Biology* 7:533-540.
- Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C. & Miranda, A.C. 2002. The fire factor. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (Eds.) *The cerrados of Brazil: ecology and*

- natural history of a neotropical savanna. Columbia University Press. New York. pp.51–68.
- Miranda, H.S.; Neto, W.N. & Neves, B.M.C. 2010. Caracterização das queimadas de cerrado. In: Miranda, H.S (Ed.) Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: projeto de fogo. Ibama. Brasília. pp.23-33.
- Miyanishi, K. & Kellman, M. 1986. The Role of Fire in Recruitment of Two Neotropical Savanna Shrubs, *Miconia albicans* and *Clidemia sericea*. *Biotropica* 18(3):224-230.
- Moreira, A.G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography* 27:1021–1029.
- Nzunda, E.F. & Lawes, M.J. 2011. Costs of resprouting are traded off against reproduction in subtropical coastal dune forest trees. *Plant Ecology* 212:1991–2001.
- Oliveira, P.E.; Gibbs, P.E.; Barbosa, A.A. & Talavera, S. 1992. Contrasting breeding systems in two *Eriotheca* (Bombacaceae) species of the Brazilian Cerrados. *Plant Systematics and Evolution* 179:207-219.
- Oliveira P.E. & Moreira, A.G. 1992. Anemocoria em espécies de cerrado e mata de galeria de Brasília, DF. *Revista Brasileira de Botânica* 15: 163-174.
- Pausas, J.G. 1997. Resprouting of *Quercus suber* in NE Spain after fire. *Journal of Vegetation Science* 8:703–706.
- Pyne, S.J. 1984. Introduction to wildland fire. Library of Congress, Washington.
- Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations. *Plant and soil* 51:73-108.
- Ramos, A.E. 1990. Efeitos da queima sobre a vegetação lenhosa do cerrado. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Raw, A. & Hay, J. 1985. Fire and other factors affecting a population of *Simarouba amara* in cerradão near Brasília, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 8:101-107.
- Ribeiro, M.L. 2011. Reserva Ecológica do IBGE: Biodiversidade Terrestre. Vol 1. Tomo 1. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro.

- Ribeiro, M.N.; Sanchez, M.; Pedroni, F. & Peixoto, K.S. 2012. Fogo e dinâmica da comunidade lenhosa em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, Mato Grosso. *Acta Botanica Brasilica* 26(1):203-217.
- Rizzini, C.T. 1976. Tratado de fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural.
- Roitman, I.; Felfili, J.M. & Rezende, A.V. 2008. Tree dynamics of a fire-protected cerrado sensu stricto surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991-2004) in Bahia, Brazil. *Plant Ecology* 197:255-267.
- Salomão, A.N. & Leite, A.M.C. 1993. Comportamento de regenerantes de *Astronium urundeuva* (Fr. All.) Engler em área sob ação antrópica. *Acta Botanica Brasilica* 6(2):85-96.
- San-José, J.J. & Fariñas, M.R. 1991. Temporal changes in the structure of a *Trachypogon* savanna protected for 25 years. *Acta Oecologica* 12(2):237-247.
- Sato, M.N. 2003. Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura da comunidade de lenhosas da vegetação do cerrado sensu stricto. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Sato, M.N.; Miranda, H.S. & Maia, J.M.F. 2010. O fogo e o estrato arbóreo do Cerrado: efeitos imediatos e de longo prazo. In: Miranda, H.S (Ed.) Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: projeto de fogo. Ibama. Brasília. pp.77-91.
- Schutz, E.N.; Bond, W.J. & Cramer, M.D. 2009. Juggling carbon: allocation patterns of a dominant tree in a fire-prone savana. *Oecologia* 160:235-246.
- Schutz, E.N.; Bond, W.J. & Cramer, M.D. 2011. Defoliation depletes the carbohydrate reserves of resprouting *Acacia* saplings in an African savanna. *Plant Ecology* 212:2047-2055.
- Silva, I.A. & Batalha, M.A. 2009. Co-occurrence of tree species at fine spatial scale in a woodland cerrado, southeastern Brazil. *Plant Ecology* 200:277-286.
- Silva, I.A.; Valenti, M.W.; & Silva-Matos, D.M. 2009. Fire effects on the population structure of *Zanthoxylum rhoifolium* Lam (Rutaceae) in a Brazilian savana. *Brazilian Journal of Biology* 69(3):813-818.

- Vale, V.S. & Lopes, S.F. 2010. Efeitos do fogo na estrutura populacional de quatro espécies de plantas do cerrado. *Revista Nordestina de Biologia* 19(2):45-53.
- Vieira, E.M.; Andrade, I. & Price, P.W. 1996. Fire Effects on a *Palicourea rigida* (Rubiaceae) Gall Midge: A Test of the Plant Vigor Hypothesis. *Biotropica* 28(2):210-217.
- Vila, M. & Terradas, J. 1995. Effects of Competition and Disturbance on the Resprouting Performance of the Mediterranean Shrub *Erica multiflora* L. (Ericaceae). *American Journal of Botany* 82(10):1241-1248.
- Whittaker, R.H. 1975. *Communities and Ecosystems*. Macmillan Publishing Co., New York.

CAPÍTULO 3

EFEITOS DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES SOBRE A RIQUEZA DE ESPÉCIES DO ESTRATO RASTEIRO NO CERRADO

Resumo

Os ambientes de Cerrado e mata-de-galeria são muitas vezes contíguos e por causa disso estão sujeitos a pressões ambientais semelhantes, tais como o fogo. A importância do componente herbáceo é alta nas fisionomias savânicas e pequena nas fisionomias florestais. Com o aumento na disponibilidade de nutrientes no solo o estrato herbáceo pode ter sua riqueza de espécies reduzida. No Cerrado um grande número de espécies do estrato herbáceo-subarbustivo é capaz de florescer pouco tempo após uma queimada. Assim, uma queimada acidental foi utilizada com objetivo de verificar se a riqueza de plantas herbáceas se reproduzindo após o fogo é maior nas áreas controle do que nas áreas fertilizadas e se é menor em áreas de mata quando comparadas à áreas de cerrado. O estudo foi realizado em um experimento de adição de nutrientes em um gradiente cerrado-mata-de-galeria na Reserva Ecológica do IBGE. Durante os 16 meses de acompanhamento pós-fogo foram registradas 189 espécies herbáceas com flores ou frutos. As parcelas controle de cerrado foram mais ricas em espécies do que as parcelas sujeitas à fertilização confirmando outros resultados em ecossistemas de campo. *Melinis minutiflora* esteve presente principalmente nas áreas adubadas de cerrado, tornando-as ainda mais suscetíveis à passagem do fogo. Forte diminuição de espécies herbáceas foi observada acompanhando o gradiente cerrado-mata de galeria, que está em conformidade com o padrão natural de transição entre esses ambientes.

Palavras-chave: adubação, reprodução, gradiente cerrado-mata.

Abstract

Forest and savannic formations border and they are subject to the same environmental pressure, as fire. The importance of herbaceous layer is high in savanna and low in forest formations. With higher nutrient availability in the soil

the ground layer richness may decrease. A high number of savanna herbaceous species is able to flower shortly after burning. Thus, an accidental fire was used to verify if the herbaceous species richness was reduced by nutrient addition and if it was lower in forest than in savanna. The study was carried out in an experiment of nutrients addition in a savanna-forest boundary in the IBGE Ecological Reserve, near Brasília, Brazil. During 16 months post-fire inventory there were registered 189 herbaceous species flowering or fruiting. The control savanna plots were richer in species than fertilized plots, agreeing with other studies realized in grassland ecosystems. *Melinis minutiflora* was mainly present in cerrado fertilized sites making them even more fire-prone. Strong diminishing of herbs was observed following the savanna-forest boundary, what it is usual to the natural pattern of these environments.

Key-words: fertilization, reproduction, savanna-forest boundary.

INTRODUÇÃO

O fogo tem sido registrado em diversos ecossistemas pelo mundo e os registros mais antigos de queimadas são relacionados a causas naturais (San José & Fariñas, 1991). Queimadas regulares estão associadas a presença de um dossel gramíneo inflamável característico de savanas tropicais (Frost & Robertson, 1987; Simon et al., 2009; Simon & Pennington, 2012). Registra-se a ocorrência de queimadas no Cerrado entre 32 e 3,5 mil anos atrás (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; Guimarães et al., 2003); deste modo, o longo período de ocorrência de incêndios permitiu que muitas espécies se tornassem tolerantes ou até mesmo dependentes do fogo para alguns processos ecológicos neste ambiente como a reprodução (Coutinho, 1982). Os impactos do fogo sobre os organismos e conseqüentemente sobre a comunidade variam em função do histórico da área, do estado fisiológico e de desenvolvimento do organismo quando da passagem do fogo, da ocorrência de estresses adicionais futuros tais como herbivoria (Frost & Robertson, 1987), do tipo de queimada (subterrâneo, superfície, copa), da época do ano (estação úmida ou seca), da frequência de eventos de queima (determinando o intervalo de tempo que a planta tem para se recuperar) e do comportamento do fogo (especialmente o calor liberado durante

a combustão, a velocidade da frente de fogo e a duração de temperaturas elevadas) (Miranda et al., 2010). As queimadas que acontecem no Cerrado são caracterizadas principalmente como de superfície e a vegetação herbácea representa cerca de 94% do material combustível consumido (Miranda et al., 2002).

A ocorrência de um distúrbio como o fogo pode ser considerado um processo de renovação de uma comunidade (Clark, 1989), onde é possível observar a dinâmica temporal de substituição de espécies em uma área após este tipo de evento, que normalmente resulta na eliminação da parte aérea da maioria das plantas que compõem uma determinada comunidade vegetal (Soares et al., 2006; Munhoz & Felfili, 2008; Eugênio et al., 2011). Por outro lado, a supressão do fogo poderia conduzir a evolução de fisionomias abertas para outras mais fechadas e o estrato herbáceo-subarbusivo, formado principalmente por espécies heliófilas, seria sombreado pelo desenvolvimento do estrato arbóreo e perderia muito de seu vigor e poder competitivo (Coutinho, 1982; Franco et al., 2014). Em uma savana de *Trachypogon*, San-José & Fariñas (1991), observaram que após 25 anos de proteção contra o fogo a densidade de caules do estrato arbóreo aumentou 131 vezes e que este aumento da cobertura arbórea foi acompanhado pela redução da cobertura do estrato herbáceo. Pinheiro & Durigan (2009) analisaram a dinâmica de fisionomias de Cerrado ao longo de 44 anos de supressão das queimadas em área de cerrado *sensu lato* e concluíram que a área ocupada pelas fisionomias campestres foi reduzida de 23% para menos de 1% da área estudada, enquanto o cerradão aumentou de 53% para 91%. Um estudo realizado em uma área de campo limpo e campo sujo após sete anos de supressão de fogo apontou reduções de 17% e 9% nas espécies herbáceas, respectivamente (Amaral, 2008).

A capacidade de recuperação, tolerância e dependência ao fogo diferem muito entre as espécies de plantas do Cerrado (Munhoz & Amaral, 2010). Assumindo que apenas os indivíduos que podem produzir descendentes estão adaptados a um ambiente (Primack & Kang, 1989), espécies que se reproduzem nos primeiros meses pós-fogo seriam aparentemente adaptadas ao fogo, ou seja dependentes ou estimuladas pelo fogo ou pelas condições propiciadas pelo fogo (Coutinho, 1982) e espécies que se reproduzem de acordo com o seu ritmo

biológico seja na estação seca, chuvosa ou continuamente ao longo do ano, independente da ocorrência de queimadas, seriam independentes do fogo para reprodução (Batalha et al., 1997). Um grande número de espécies do estrato herbáceo-subarbusivo do Cerrado é capaz de florescer pouco tempo após uma queimada, sendo que a grande maioria chega mesmo a depender dela, qualitativa ou quantitativamente, para produzir suas flores e reproduzir-se sexualmente (Coutinho, 1976; César, 1980).

A riqueza de espécies e a abundância de indivíduos podem variar entre áreas de Cerrado segundo diferentes fatores tais como características físicas, climáticas e edáficas (Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger, 1983), fogo (Coutinho, 1982), herbivoria e distúrbios antrópicos (Miranda et al., 2002). A interação desses fatores determinando processos ecológicos numa localidade ainda é pouco estudada. Por exemplo, a queima da vegetação morta enriquece no curto-prazo em nutrientes o solo da camada superficial, por acelerar a mineralização (Rheinheimer et al., 2003), que por sua vez pode determinar ou influenciar o processo de regeneração e de acumulação de biomassa após o fogo em um determinado local. Por outro lado, um estudo realizado por Kauffman et al. (1994) indicou grande perda de nutrientes através de volatilização durante uma queimada, especialmente de carbono, nitrogênio e enxofre nas fisionomias mais campestres de Cerrado. Assim, áreas sujeitas a queimadas frequentes, tornando-se mais pobres em nutrientes ao longo do tempo, tendem a suportar uma vegetação cada vez mais aberta e de maior flamabilidade (Kellman, 1984).

A produtividade primária dos ecossistemas é fortemente limitada pela disponibilidade de recursos e por relações competitivas entre os organismos para obter esses recursos (Tilman, 1982; Gao et al., 2011). Muitas savanas estão sobre solos altamente intemperizados, onde o fósforo é um dos mais importantes recursos limitantes às plantas (Bustamante et al., 2012) e especificamente no Cerrado, em geral, os solos são latossolos distróficos com alta saturação por alumínio (Haridasan, 1992). A entrada de uma quantidade adicional de um elemento já existente em um ecossistema deve alterar o fluxo do nutriente em questão (Grace et al., 2006), e também de outros nutrientes e, conseqüentemente, a resposta das plantas. Por exemplo, estudos realizados em áreas de campo sob clima temperado (EUA e Europa) demonstram a relação

inversa entre a fertilização (como com nitrogênio) e a riqueza de espécies (Foster & Gross, 1998; Stevens et al., 2004; Bobbink et al., 2010). Igualmente, acredita-se que as plantas do Cerrado mesmo adaptadas à condição de baixa fertilidade do solo (Eiten, 1982; Haridasan, 1992) podem responder a uma maior disponibilidade de nutrientes (Villela & Haridasan, 1994) diminuindo a riqueza de espécies no estrato herbáceo-subarbusivo; esse efeito pode ser exacerbado pelo aumento da produtividade de espécies invasoras competitivamente superiores (Veldman & Putz, 2011). Espécies invasoras como *Melinis minutiflora* P. Beauv. (capim-gordura) competem com sucesso com a flora nativa do Cerrado, substituindo-a, formando grandes manchas e a perda da biodiversidade é a consequência mais séria de sua presença, especialmente em áreas antropizadas ou sob ação de queimadas (Pivello et al., 1999; Filgueiras, 2002; Martins et al., 2004; Hoffmann & Haridasan, 2008; Bustamante et al., 2012; Franco et al., 2014).

Pouco se conhece a respeito do efeito da interação entre o fogo e a disponibilidade de nutrientes pós-fogo sobre o estrato herbáceo. O incremento da disponibilidade de nutrientes pela queima da vegetação deve ser rapidamente absorvido pelas raízes superficiais das plantas herbáceas (Cavalcanti, 1978) e influenciar tal componente quer seja sobre a biomassa, fenologia e composição da comunidade. Para Savadogo et al. (2009) o aumento na abundância do estrato inferior de uma área de savana africana nos cinco primeiros anos após o fogo pode ser relacionada a maior disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes. Nesse caso, em áreas de alta fertilidade de solo espécies de plantas competitivamente superiores atingem mais rapidamente tamanhos maiores e exercem maior pressão sobre as espécies de crescimento mais lento (Whittaker, 1975; Rajaniemi, 2002; De Schrijver et al., 2011). Contrariamente, em áreas de baixa fertilidade as plantas crescem mais lentamente, a taxa de mortalidade advinda de competição é mais baixa e com o tempo, há um grande número de espécies de plantas de pequeno porte (Whittaker, 1975). Veldman & Putz (2011) compararam a diversidade de espécies de uma área de savana natural, em solo pobre em nutrientes, com a diversidade de uma savana derivada, localizada sobre solo fértil, e encontraram que a área de savana natural caracterizava-se por uma alta diversidade de espécies, enquanto a de savana derivada era dominada por algumas poucas espécies (dentre elas, algumas espécies

invasoras). Assim, em áreas de cerrado queimadas e sujeitas a adição de nutrientes, a diversidade de espécies herbáceas deve ser menor que a de áreas não fertilizadas, diminuição essa mediada pela colonização de espécies competitivamente superiores tais como o capim-gordura.

As formações savânicas no Brasil divisam e coexistem com outras formações vegetacionais, como as matas de galeria nas margens dos rios. Diferentemente dos solos inférteis do Cerrado, as áreas de floresta são em geral associadas com maior disponibilidade de água e nutrientes e menos luz alcançando os estratos inferiores (Ruggiero et al., 2002; Furley 2007; Silva et al., 2013). Também a transição entre savana e floresta difere na composição de espécies e na densidade de indivíduos arbóreos (Hoffmann et al., 2012). Enquanto a densidade e riqueza do estrato arbóreo aumenta, há um empobrecimento do estrato herbáceo, acompanhado pela mudança na composição das espécies. Famílias representadas por muitas espécies herbáceas no Cerrado tais como Asteraceae e Poaceae dão lugar a espécies da família Rubiaceae e Cyperaceae na mata-de-galeria. Segundo Felfili et al. (2000) o baixo número de espécies e indivíduos no estrato herbáceo é indicativo de bom estado de conservação das matas e que matas degradadas são invadidas por gramíneas e samambaias. Embora mais sensíveis às flutuações microclimáticas e edáficas que as espécies arbóreas, o estrato herbáceo-subarbustivo tem merecido pouca atenção em pesquisas realizadas em ecossistemas florestais como um todo (Meira Neto & Martins, 2003).

Uma vez contíguos, os ambientes de cerrado e mata-de-galeria estão sujeitos a pressões ambientais semelhantes, tais como o fogo. Espécies arbóreas de mata-de-galeria possuem um conjunto de características morfológicas (tais como casca fina, maior índice de área foliar) que as torna menos tolerantes à condição de queima e que resulta em elevada perda da parte aérea dos indivíduos arbóreos como resultado da passagem do fogo (Hoffmann et al., 2009, Rossatto et al., 2009). Sabe-se que uma malha de raízes finas de plantas arbóreas espalha-se sob a superfície do solo absorvendo os nutrientes, assim que estes são mineralizados durante a decomposição da serrapilheira (Correia et al., 2001) e tais raízes deverão desempenhar importante papel na absorção de nutrientes provenientes das cinzas após um evento de queima ou quando da adição de

nutrientes, se não forem danificadas pela passagem do fogo. Dependendo da intensidade do incêndio e da perda de folhas da vegetação após o fogo, forma-se um mosaico luminoso no interior da mata (Kellman & Meave, 1997), que poderia facilitar a entrada de espécies heliófilas, tais como as de Cerrado. Mas a exclusão do fogo e a entrada de nutrientes advindos das cinzas permitiria o rápido fechamento do dossel e sujeitas ao sombreamento as espécies herbáceas e gramíneas tenderiam a ser excluídas do interior da mata (Hennenberg et al., 2006).

Para melhor entender os papéis do fogo na reprodução de plantas e na diversidade de espécies, uma queimada acidental foi utilizada para desenvolver um estudo comparativo da riqueza de espécies do estrato herbáceo se reproduzindo após o fogo, sujeitas à adição de nutrientes, em um gradiente cerrado-mata de galeria. Meu objetivo foi verificar se a riqueza de plantas herbáceas é maior nas áreas controle do que nas áreas fertilizadas e se é menor em áreas de mata-de-galeria quando comparadas à áreas de cerrado. Assim, esperava-se observar um gradiente de diminuição de espécies herbáceas acompanhando o gradiente cerrado-mata de galeria. Foi também objetivo deste trabalho observar a existência de padrões fenológicos reprodutivos pós-fogo entre as espécies do estrato rasteiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A região de estudo (Figura 1) localiza-se em área core de Cerrado e é parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Distrital Gama-Cabeça de Veado que perfaz, incluindo a Reserva Ecológica do IBGE (RECOR), um total de 10.000 ha de área protegida contínua (Ribeiro, 2011). A RECOR está localizada 35 km ao sul do centro de Brasília, com coordenadas de 15°55' a 15°58'S, 47°52' a 47°55'W e altitude variando de 1048 a 1160 m. As fitofisionomias de Cerrado presentes na reserva são: campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e cerradão, em um gradiente crescente de biomassa arbórea. Além disso, apresenta também matas, veredas, brejos e campos úmidos (Ribeiro, 2011). Os solos predominantes são Oxissolos profundos e bem drenados (Ribeiro, 2011). A precipitação, umidade relativa e a temperatura média anuais registradas na estação meteorológica do IBGE de

2011-2013 foram 1418 mm, 67% e 22°C, respectivamente (dados disponíveis em www.recor.org.br). O clima é fortemente sazonal, com uma estação seca que se estende de maio a setembro; os meses de junho a agosto são os mais secos (www.recor.org.br) quando as queimadas são frequentes (Figura 2).

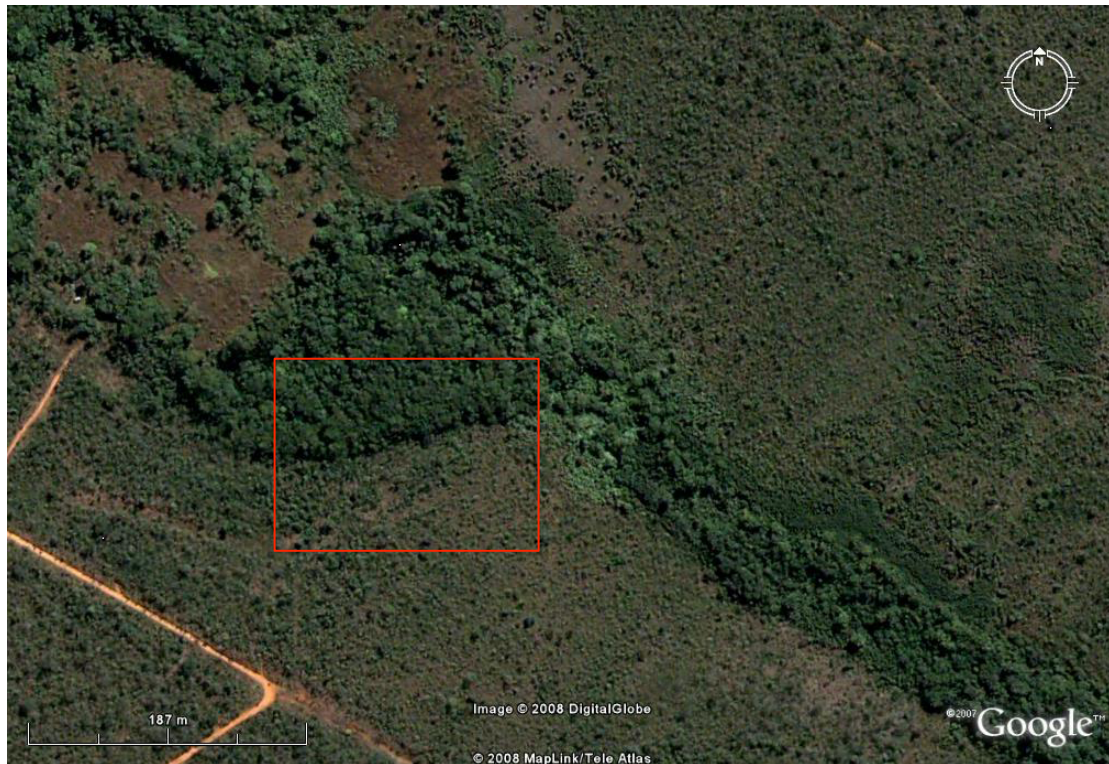


Figura 1. Fotografia da área de estudo, mostrando a área de transição cerrado *sensu stricto* (mais aberta)–mata de galeria (mais densa) antes da passagem do fogo e a localização aproximada das parcelas (em vermelho). (Escala: 1:18700cm, fonte: GoogleEarth)

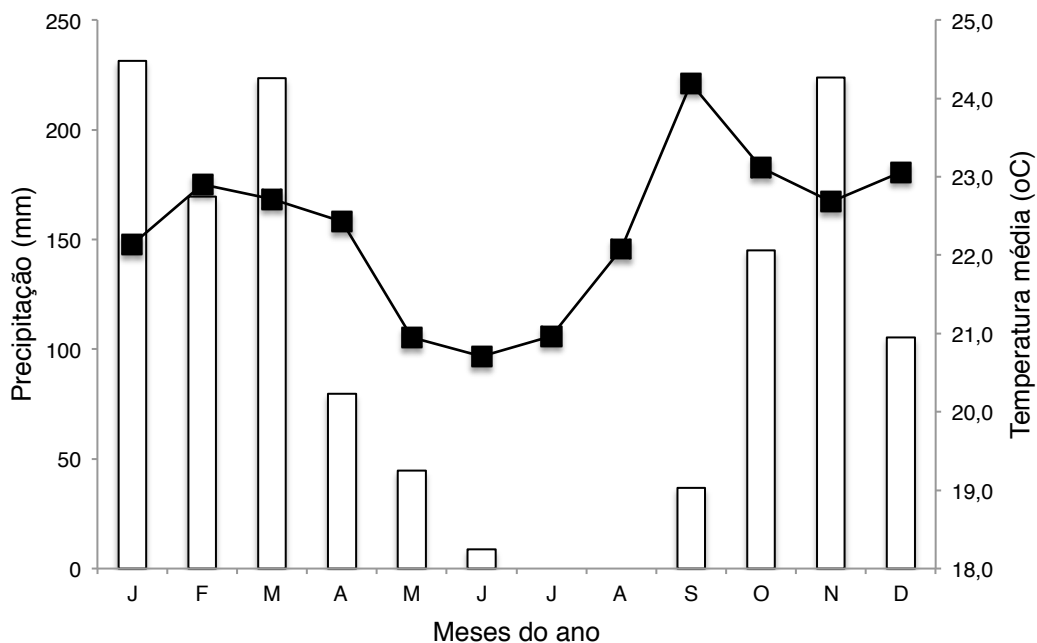


Figura 2. Médias mensais de precipitação (em barras) e temperatura (linha) na Reserva Ecológica do IBGE entre os anos de 2011 a 2013.

Desenho experimental e caracterização dos nutrientes no solo

O experimento contou com quatro tratamentos e três replicações (para mais detalhes ver item “Desenho experimental e caracterização dos nutrientes no solo” na seção “Material e Métodos” do capítulo 1). Os tratamentos foram controle, irrigação na época seca, adição de nutrientes e irrigação com adição de nutrientes. A adição de nutrientes foi feita no início e final da estação chuvosa e a aplicação de calcário dolomítico foi feita no início da mesma estação, ambas realizadas desde 2005 e a lanço para assegurar distribuição uniforme dos fertilizantes. Uma queimada ocorrida em setembro de 2011 impediu a continuidade da irrigação que se realizava anualmente durante o período de maio a setembro. Contudo, mesmo após a passagem do fogo as parcelas continuaram a ser adubadas seguindo a programação anual de adubação.

Em março de 2010 foram coletadas amostras simples da camada superficial (0-15 cm) do solo em intervalos de 10 m ao longo de cada transecto cerrado-mata de galeria e a avaliação da fertilidade do solo indicou que houve aumento significativo na disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio,

alumínio, zinco e cobre nas parcelas adubadas (Geiger et al., dados não publicados; Tabela 1).

Para este capítulo foram estudadas as plantas localizadas nos três ambientes e nos quatro tratamentos (totalizando 84 subparcelas: nove subparcelas/tratamento/ambiente, para cerrado e mata de galeria e três subparcelas/tratamento/ambiente, para borda). Para mais detalhes ver item “Desenho experimental e caracterização dos nutrientes no solo” na seção “Material e Métodos” do capítulo 1.

Tabela 1. Disponibilidade de nutrientes nas parcelas de cerrado, borda e mata-de-galeria submetidas aos tratamentos com e sem adubação. Dados expressos em média \pm erro padrão.

	Com fertilizantes	Sem fertilizantes
Carbono orgânico (%)	3,42 \pm 0,80 a	3,26 \pm 0,62 a
Nitrogênio total (%)	0,32 \pm 0,09 a	0,30 \pm 0,06 a
pH em água	5,09 \pm 0,33 a	5,07 \pm 0,26 a
pH em KCl (1M)	4,57 \pm 0,27a	4,32 \pm 0,16 a
P (mg.kg ⁻¹)	8,61 \pm 6,44 a	2,58 \pm 1,06 b
K (cmol(+).kg ⁻¹)	0,25 \pm 0,06 a	0,18 \pm 0,05 b
Ca (cmol(+).kg ⁻¹)	3,44 \pm 2,98 a	1,24 \pm 1,68 b
Mg (cmol(+).kg ⁻¹)	0,79 \pm 0,58 a	0,18 \pm 0,15 b
Al (cmol(+).kg ⁻¹)	0,47 \pm 0,34 a	0,94 \pm 0,73b
Fe (mg.kg ⁻¹)	84,5 \pm 23,15 a	98,6 \pm 22,0 a
Mn (mg.kg ⁻¹)	27,5 \pm 16,24 a	20,07 \pm 11,2 a
Zn (mg.kg ⁻¹)	30,1 \pm 19,48 a	1,81 \pm 0,30 b
Cu (mg.kg ⁻¹)	1,21 \pm 0,47 a	0,53 \pm 0,45 b

Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fogo

Em 09 de setembro de 2011 um incêndio atingiu a reserva do IBGE (para mais detalhes ver item “Fogo” da seção “Material e Métodos” do capítulo 2). O fogo atingiu as áreas de cerrado *sensu stricto* e mata-de-galeria onde o experimento está instalado, como nos evidenciam as fotos tiradas quatro dias após o fogo (Figura 3 a-d). O registro de indivíduos lenhosos na área estudada indicou que em média 63% da altura do tronco foi atingida pelas chamas (a altura média da marca de fogo foi de 2,48 m). Muitos indivíduos foram

totalmente queimados. Todos os indivíduos arbóreos que não tiveram suas copas destruídas, incluindo os que habitam áreas de mata-de-galeria, perderam suas folhas após o fogo.

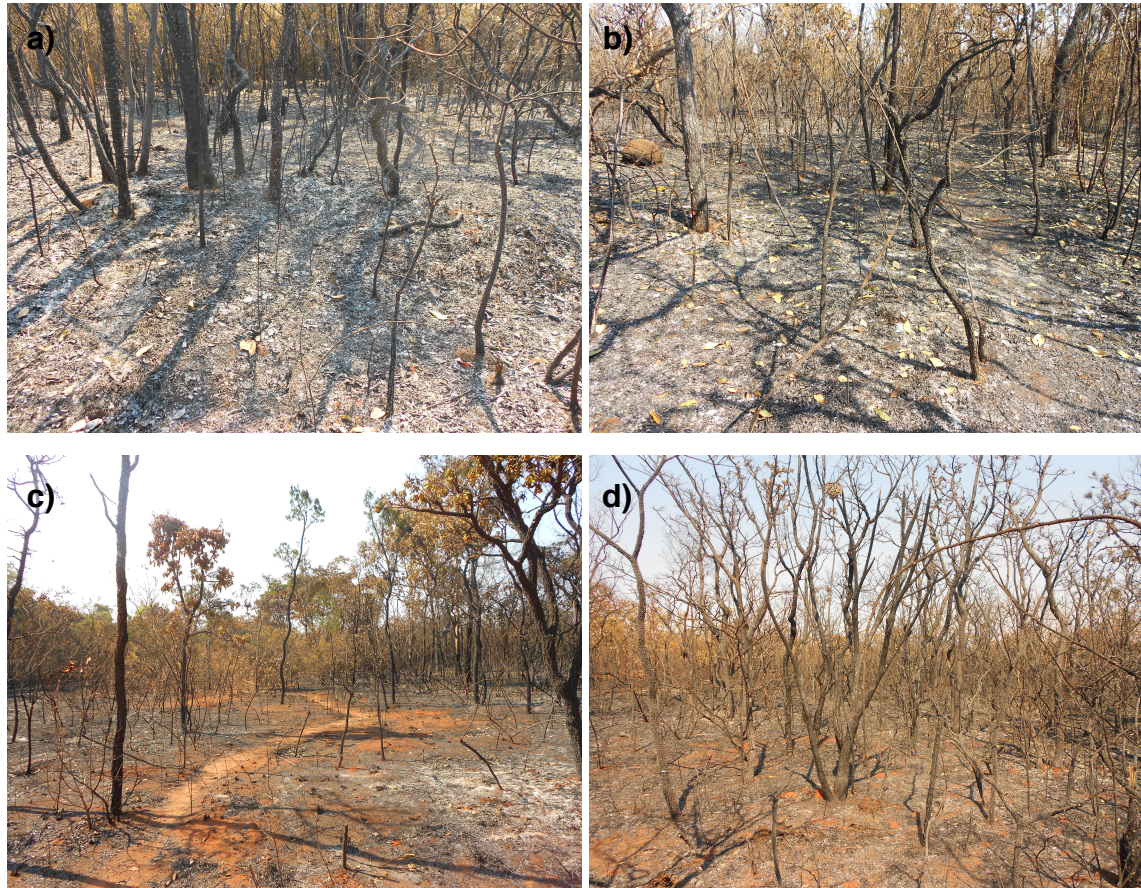


Figura 3. Imagens da área de estudo após a passagem do fogo, (a) e (b) mostram que toda a cobertura herbácea foi queimada e a grande quantidade de cinzas sobre o solo, (c) e (d) mostram que as copas de muitos indivíduos arbóreos foram parcial ou totalmente queimadas. (Fonte: Klécia Gili Massi, 12/09/11)

Levantamento das espécies

O levantamento das espécies herbáceas foi feito por meio de varredura de todas as parcelas de 10 x 10 m e o critério de inclusão foi se ao menos indivíduo de uma determinada espécie era observado com flores e/ou frutos. Durante os três primeiros meses após o fogo, o levantamento foi feito quinzenalmente (21/10/11, 05/11/11, 18/11/11, 04/12/11, 17/12/11, 04/01/12, 14/01/12) (Figura 4 a-d). Após esse período e até fevereiro de 2013, as coletas passaram a ser feitas sazonalmente (início: 24/03/12, meio: 11/05/12 e fim: 16/08/12 da

estação seca e início: 08/10/12 e meio: 10/12/12 e 04/01/13 da estação chuvosa). Exemplos de espécies que não eram conhecidas foram coletados, prensados, secos e identificados no Herbário do IBGE e no Herbário da Universidade de Brasília (UB), com auxílio de bibliografia especializada e consulta a especialistas. Os materiais férteis foram herborizados e depositados no Herbário da UnB. As espécies foram classificadas em famílias de acordo com o sistema do Angiosperm Phylogeny Group III (APG III 2009). Espécie herbácea foi considerada toda planta pertencente ao estrato inferior do cerrado, ou seja, incluiu o estrato graminoso e subarbustivo (Rizzini, 1976) Espécies invasoras foram classificadas de acordo com Pereira & Filgueiras (1988).



Figura 4. Imagens de diferentes espécies herbáceas com flor. (a) *Crumenaria erecta* Reissek; (b) *Croton* sp.; (c) *Aspilia cf. foliacea* Baker; (d) *Cuphea linarioides* Cham. & Schltdl. (Fonte: Klécia Gili Massi, 05/11/11)

Análises estatísticas

Os dados foram testados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e mesmo a transformação por diferentes métodos (log normal, log neperiano, log na base 10, 1/valor) não garantiu a normalidade. Assim, testes não paramétricos foram utilizados em todas as análises estatísticas deste trabalho.

Inicialmente os quatro tratamentos foram analisados separadamente, mas a comparação de medianas das riquezas de espécies, através do teste de Wilcoxon ao nível de 5% de probabilidade, apontaram a ausência de diferença significativa entre as parcelas irrigadas e não irrigadas, que portanto foram agrupadas aos tratamentos de fertilização e controle.

Para testar o efeito da adição de nutrientes e do tipo de fitofisionomia separadamente sobre a riqueza de espécies usei o teste de Wilcoxon ao nível de 5% de probabilidade. Os dados de riqueza são apresentados em número de espécies por parcela de 100m². Para testar a existência e o nível de associação entre o número de espécies encontradas com flor e/ou fruto e o gradiente cerrado-mata de galeria, usei a correlação de Spearman. Para verificar se o número de espécies ao longo do gradiente vegetacional variou em resposta à fertilização, a análise de Modelos Lineares Generalizados com a distribuição de Poisson foi utilizada. O modelo explica se o número de espécies em flor e/ou fruto é função da interação entre o posicionamento no gradiente e o tratamento.

A riqueza de espécies ao longo do período de 16 meses foi agrupada por similaridade com o objetivo de identificar grupos de espécies que se reproduziram na mesma época. O agrupamento (*cluster analysis*) é uma técnica multivariada de agregar dados com valores semelhantes (JMP Pro 10.0). Para essa análise, o registro da frequência das espécies florescendo e/ou frutificando nas parcelas foi substituído pelo número 1, assim o mesmo peso foi dado a todas as espécies. As análises foram rodadas no programa JMP Pro 10.0.

RESULTADOS

Ao longo do período de estudo foram registradas 189 espécies herbáceas com flores ou frutos, distribuídas em 42 famílias. As famílias com maior número de espécies foram Asteraceae, Poaceae e Fabaceae (com 27, 22 e 17 espécies, respectivamente), seguidas de Cyperaceae, Malphigiaceae, Myrtaceae e Rubiaceae (cada uma com nove espécies) que juntas representaram 54% de

todas as espécies registradas. Do total de espécies, 102 ocorreram exclusivamente no cerrado *sensu stricto* e sete na mata-de-galeria; nenhuma espécie foi exclusiva de ambiente de borda e cinco espécies foram comuns aos três habitats, sendo uma destas a espécie invasora *Melinis minutiflora* (Tabela 2). Sessenta e sete espécies ocorreram no cerrado e borda, e oito na borda e na mata-de-galeria. Foram registradas cinco espécies exóticas consideradas invasoras: três exclusivas de cerrado, uma de ampla distribuição (*Melinis minutiflora*) e uma de ambiente de borda e mata (Tabela 2).

As análises de agrupamento quanto à época em que as espécies apareceram com flores e/ou frutos apontaram seis grupos de espécies: grupo 1) espécies que se reproduziram logo após a passagem do fogo (outubro e novembro de 2011); grupo 2) espécies que se reproduziram no início da estação chuvosa depois do fogo (dezembro de 2011); 3) espécies que se reproduziram no final da estação chuvosa depois do fogo (janeiro a março de 2012); grupo 4) espécies que se reproduziram na transição final da estação chuvosa-início da seca seguinte ao fogo (março a maio de 2012); grupo 5) espécies que floresceram ou frutificaram quase 1 ano após a passagem do fogo (de agosto de 2012 em diante); e grupo 6) espécies que apresentaram flores e/ou frutos durante quase todo o período de levantamento (Tabela 2 e Figura 5). O grupo mais numeroso foi o 5 composto por 59 espécies; seguidos do 4 e do 3, cada um com 40 espécies; o 1, por 25 espécies; o 2, por 17 espécies e o grupo menos numeroso foi o 6 composto por 8 espécies. Monasterio & Sarmiento (1976) classificaram as estratégias fenológicas de espécies da savana venezuelana de acordo com sua forma de vida e fenodinâmica e elas estiveram bastante relacionadas à estacionalidade climática, o que também observa-se para as espécies da comunidade estudada.

Tabela 2. Lista de espécies encontradas com flores e/ou frutos durante o período de estudo, sua família, habitat (b=borda; c=cerrado e m=mata de galeria) e grupo fenológico (1=logo após a passagem do fogo; 2=início da estação chuvosa; 3=final da estação chuvosa; 4=transição final da estação chuvosa-início da seca; 5=floração e/ou frutificação 1 ano após a passagem do fogo; 6= todo o

levantamento) aos quais elas pertencem. As espécies invasoras estão assinaladas com um asterisco.

Família	Espécie	habitat	grupo
Acanthaceae	<i>Justicia pycnophylla</i> Lindau	c	3
	<i>Ruellia dissitifolia</i> (Nees) Hiern	c	5
	<i>Ruellia</i> sp.1	c, b	1
Amaranthaceae	<i>Gomphrena arborescens</i> L. f.	c	5
Anacardiaceae	<i>Anacardium humile</i> A. St.-Hil.	c, b	5
Apocynaceae	<i>Barjonia</i> cf. <i>cymosa</i> E. Fourn.	c	3
	<i>Barjonia</i> cf. <i>erecta</i> (Vell.) K. Schum.	c	5
	<i>Mandevilla</i> cf. <i>longiflora</i> (Desf.) Pichon	c, b	3
Asteraceae	<i>Mandevilla illustris</i> (Vell.) Woodson	c	2
	<i>Oxypetalum erectum</i> Mart.	c	3
	<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	m	5
	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	c	4
	<i>Ageratum fastigiatum</i> (Gardner) R.M. King & H. Rob. *	m, b	4
	<i>Aspilia</i> cf. <i>foliacea</i> Baker	c, b	1
	Asteraceae sp.1	c	4
	Asteraceae sp.2	c	3
	Asteraceae sp.3	c, b	4
	<i>Baccharis tridentata</i> Vahl	c	5
	<i>Bidens</i> cf. <i>pilosa</i> L. *	c	3
	<i>Bidens graveolens</i> Mart	c	4
	<i>Campuloclinium megacephalum</i> R.M. King & H. Rob.	c, b	3
	<i>Chaptalia interregima</i> (Vell.) Burkart	c, b	1
	<i>Chresta sphaerocephala</i> DC.	c	5
	<i>Chromolaena</i> cf. <i>maximiliani</i> (Schrad.) K. & R.	m	5
	<i>Chromolaena chaseae</i> (B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob	c, b	4
	<i>Chromolaena stachyophylla</i> (Spreng.) K&R	c, b	2
	<i>Elephantopus elongatus</i> Gard.	c, b	4
	<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.	c	3
	<i>Ichthyothere latifolia</i> Baker	c, b	3
	<i>Lessingianthus compactiflorus</i> Mart. ex Baker) H.Rob.	c, b	4
	<i>Lessingianthus erythrophyllus</i> (DC.) H. Rob.	c	2
	<i>Lessingianthus ligulifolius</i> (Mart. ex DC.) H. Rob.	c	3
	<i>Riencourtia oblongifolia</i> Gardn.	c, b	3
	<i>Tridax</i> cf. <i>procumbens</i> L. *	c	4
	<i>Vernonia aurea</i> Mart. ex DC.	c	3
<i>Viguiera grandiflora</i> Gardner	c, b	1	
<i>Wedelia bishopii</i> H.Rob	c, b	3	
Bignoniaceae	<i>Anemopaegma arvense</i> (Vell.) Stellfeld & J.F. Souza	c	1
Bignoniaceae	Bignoniaceae sp.1	c	5
	<i>Fridericia</i> sp.	c	4
	<i>Jacaranda ulei</i> Bureau & K. Schum.	c, b	5
Bromeliaceae	<i>Dyckia</i> sp.	m	5
Clusiaceae	<i>Kielmeyera abdita</i> Saddi	m, b	3
	<i>Kielmeyera variabilis</i> Mart.	c	3
Convolvulaceae	<i>Ipomoea procurrens</i> Meisn.	c	3
	<i>Merremia contorquens</i> (Choisy) Hallier f.	c	4
Cucurbitaceae	Cucurbitaceae sp.1	c	4
Cyperaceae	<i>Bulbostylis</i> sp.1	c	5
	<i>Bulbostylis</i> cf. <i>emmerichiae</i> T. Koyam	c	3

	<i>Bulbostylis pachypoda</i> Kral & M.T. Strong	c	2
	<i>Bulbostylis sphaerocephala</i> (Boeckeler) C.B. Clarke	c	2
	Cyperaceae sp.1	m, c, b	5
	<i>Rhynchospora albiceps</i> Kunth	c, b	6
	<i>Rhynchospora patuligluma</i> C.B. Clarke [=R. pallida (Nees) Steud.]	c, b	5
	<i>Scleria leptostachya</i> Kunth	c	4
	<i>Scleria panicoides</i> Kunth	m	5
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum campestre</i> A. St.-Hil.	c	5
	<i>Erythroxylum</i> cf. <i>deciduum</i> A. St.-Hil.	c, b	5
	<i>Erythroxylum</i> cf. <i>nanum</i> A. St.-Hil.	c, b	5
Euphorbiaceae	<i>Croton antisiphiliticus</i> Mart.	m, c, b	1
	<i>Croton campestris</i> A. St.-Hil.	c	2
	<i>Croton</i> cf. <i>longinervius</i> Müll.Arg.	c, b	2
	<i>Croton goyazensis</i> Mull. Arg.	c, b	6
	<i>Dalechampia caperonioides</i> Baill.	c, b	6
	<i>Euphorbia</i> sp.	m, b	6
	<i>Manihot gracilis</i> Pohl	c, b	3
	<i>Sebastiania ditassoides</i> (Didr.) Müll. Arg.	c, b	1
Fabaceae	Fabaceae sp.1	c	4
	Fabaceae sp.2	c	3
	Fabaceae sp.3	c	4
	Fabaceae sp.4	c, b	5
	Fabaceae sp.5	c	3
Fabaceae/Caelsapinioideae	<i>Bauhinia dumosa</i> Benth.	c	3
	<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud	m, c, b	3
	<i>Chamaecrista</i> cf. <i>desvauxii</i>	c	5
	<i>Chamaecrista decrescens</i> (Benth.) T. & B.	c	2
	<i>Chamaecrista orbiculata</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby	c, b	5
Fabaceae/Faboideae	<i>Centrosema bracteosum</i> Benth	c, b	2
	<i>Eriosema crinitum</i> (Kunth) G. Don	c	5
	<i>Eriosema defoliatum</i> Benth.	c	4
	<i>Galactia grewiifolia</i> (Benth.) Taub.	c, b	2
	<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	c	4
	<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw.	c	4
Fabaceae/Mimosoideae	Papilionoideae sp.1	c	4
	<i>Calliandra dysantha</i> Benth.	c, b	5
	<i>Mimosa</i> cf. <i>nuda</i> Benth.	c, b	3
	<i>Mimosa gracilis</i> Benth. var. <i>brevissima</i> Barneby	c, b	3
	<i>Mimosa lanuginosa</i> Glaz. ex Burkart	c, b	5
	<i>Mimosa setosa</i> Benth.	c	3
Gentianaceae	<i>Calolisianthus speciosus</i> (Cham. & Schltdl.) Gilg	c	5
	<i>Irlbachia speciosa</i> Cham. & Schltdl.	c	5
Iridaceae	<i>Cipura xanthomelas</i> Mart. ex Klatt	c, b	4
	<i>Sisyrinchium restioides</i> Spreng.	c	2
	<i>Sisyrinchium vaginatum</i> Spreng.	c	2
Lamiaceae	<i>Eriope crassipes</i> Benth.	c, b	1
	<i>Hypenia macrantha</i> (St. Hil. ex Benth.) Harley	c, b	5
	<i>Hyptis</i> cf. <i>peduncularis</i> Benth.	c, b	5
	<i>Hyptis nudicaulis</i> Benth.	c	3
	<i>Hyptis villosa</i> Pohl ex Benth.	c	4
	Lamiaceae sp.1	c, b	3
	<i>Marsypianthes</i> cf. <i>montana</i> Benth.	c, b	1
Lythraceae	<i>Cuphea linarioides</i> Cham. & Schltdl.	m, b	2
	<i>Cuphea spermacoce</i> A. St.-Hil.	m, b	6
	<i>Diplusodon oblongus</i> Pohl	c, b	5
	<i>Diplusodon villosus</i> Pohl	c, b	4

Malphiaceae	<i>Banisteriopsis anisandra</i> (A. Juss.) B. Gates	c, b	4	
	<i>Banisteriopsis campestris</i> (A. Juss.) Little	c, b	3	
	<i>Diplopterys</i> cf. <i>lutea</i> (Griseb.) W.R. Anderson & C. Davis	c	1	
	<i>Heteropterys byrsonimiifolia</i> A. Juss	c	5	
	Malphiaceae sp.1	c, b	4	
	Malphiaceae sp.2	c	1	
	Malphiaceae sp.3	c	5	
	<i>Pexotoa goiana</i> C.E. Anderson	c, b	3	
	<i>Pterandra pyroidea</i> A. Juss.	c, b	5	
	Malvaceae	Malvaceae sp.1	c	4
<i>Pavonia rosa-campestris</i> A. St.-Hil.		c, b	6	
<i>Sida linifolia</i> Cav. *		c	4	
<i>Byttneria scalpellata</i> Pohl		c, b	2	
Melastomataceae	<i>Leandra</i> cf. <i>lacunosa</i> Cogn.	c, b	3	
	<i>Ossaea congestiflora</i> (Naudin) Cogn.	c	5	
Menispermaceae	<i>Cissampelos ovalifolia</i> DC.	c	2	
Myrtaceae	<i>Campomanesia adamantium</i> (Cambess.) O. Berg	c	5	
	<i>Campomanesia pubescens</i> (DC.) O. Berg	c, b	5	
	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	c	5	
	<i>Myrcia decrescens</i> O. Berg	c	5	
	<i>Myrcia linearifolia</i> Cambess	c, b	5	
	<i>Myrcia torta</i> DC.	c, b	6	
	Myrtaceae sp.1	c	5	
	Myrtaceae sp.2	c	5	
	Myrtaceae sp.3	c, b	5	
	<i>Psidium</i> cf. <i>grandiflorum</i> Aubl.	c	1	
	<i>Ouratea floribunda</i> A. St.-Hil.	c	5	
	<i>Cyrtopodium eugenii</i> Rchb. f.	c	5	
	<i>Habenaria petalodes</i> Lindl.	m, b	4	
Oxalidaceae	<i>Oxalis cordata</i> A. St.-Hil.	c	5	
	<i>Oxalis densifolia</i> Mart. ex Zucc.	c	5	
	<i>Oxalis suborbiculata</i> Lourteig	m, b	6	
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca thyrsoiflora</i> Fenzl ex J.A. Schmidt	m	4	
Poaceae	<i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth	c	2	
	Andropogon sp.1	c	3	
	<i>Axonopus</i> cf. <i>marginatus</i> (Trin.) Chase	c, b	1	
	<i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlman	c	5	
	<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	c, b	3	
	<i>Elionorus muticus</i> (Spreng.)	c, b	1	
	<i>Ichnanthus</i> cf. <i>camporum</i> Swallen	c	3	
	<i>Ichnanthus pallens</i> (Sw.) Munro ex Benth.	m	5	
	<i>Ichnanthus procurrens</i> (Nees ex Trin.) Swallen	c	5	
	<i>Imperata brasiliensis</i> Trin.	c, b	1	
	<i>Leptocoryphium lanatum</i> (Kunth) Nees.	c	1	
	<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv. *	m, c, b	4	
	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	c	5	
	<i>Panicum olyroides</i> Kunth	c	5	
	<i>Panicum</i> sp. 1	c	4	
	<i>Paspalum ammodes</i> Trin.	c	1	
	<i>Paspalum</i> cf. <i>geminiflorum</i> Steud.	c, b	4	
	<i>Paspalum</i> cf. <i>pectinatum</i> Nees.	c, b	2	
	<i>Paspalum erianthum</i> Nees. ex Trin.	c, b	1	
	<i>Paspalum eucomum</i> Nees. ex Trin.	c	4	
	<i>Paspalum</i> sp. 1	c	4	
	<i>Trachypogon spicatus</i> (L. f.) Kuntze	c	5	
	Rhamnaceae	<i>Crumenaria erecta</i> Reissek	c	1
	Rubiaceae	<i>Palicourea coriacea</i> (Cham.) K. Schum.	c	5
		<i>Palicourea officinalis</i> Mart.	c, b	5

	<i>Psychotria cf. nemorosa</i> Gardner	m, c, b	5
	<i>Psychotria prunifolia</i> (Kunth) Steyerm.	m	4
	<i>Richardia grandiflora</i> (Cham. & Schltdl.) Steud.	c	4
	<i>Sabicea brasiliensis</i> Wernham	c, b	5
	<i>Spermacoce capitata</i> Ruiz & Pav.	c	4
	<i>Spermacoce cf. latifolia</i> Aubl.	m, b	3
	<i>Tocoyena cf. formosa</i> (Cham. & Schl.) Shum.	c	5
Rutaceae	<i>Esenbeckia grandiflora</i> Mart.	c, b	3
Sapindaceae	<i>Serjania erecta</i> Radlk.	c	4
Smilacaceae	<i>Smilax goyazana</i> A. DC.	c	1
Solanaceae	<i>Nicandra physaloides</i> (L.) Gaertn.	c	3
	Solanaceae sp.1	c, b	5
Turneraceae	<i>Piriqueta cf. sidifolia</i> (A. St.-Hil. & A. Juss. & Cambess.) Urb.)	c, b	1
	<i>Turnera oblongifolia</i> Cambess.	c	1
Umbelliferae	<i>Eryngium juncifolium</i> (Urb.) Mathias & Constance	c	5
Verbenaceae	<i>Amasonia hirta</i> Benth.	c	4
	<i>Lippia lupulina</i> Cham.	c	4
	<i>Lippia martiana</i> Schauer	c	4
	<i>Lippia rotundifolia</i> Cham.	c	5
	<i>Lippia</i> sp.1	c	1
	<i>Lippia</i> sp.2	c	1
	<i>Stachytarpheta chamissonis</i> Walp.	c	3
Violaceae	<i>Hybanthus lanatus</i> (A. St.-Hil.) Baill.	c, b	1
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i> L.C. Rich	c, b	3
-	Indeterminada 1	c	3
-	Indeterminada 2	c	3

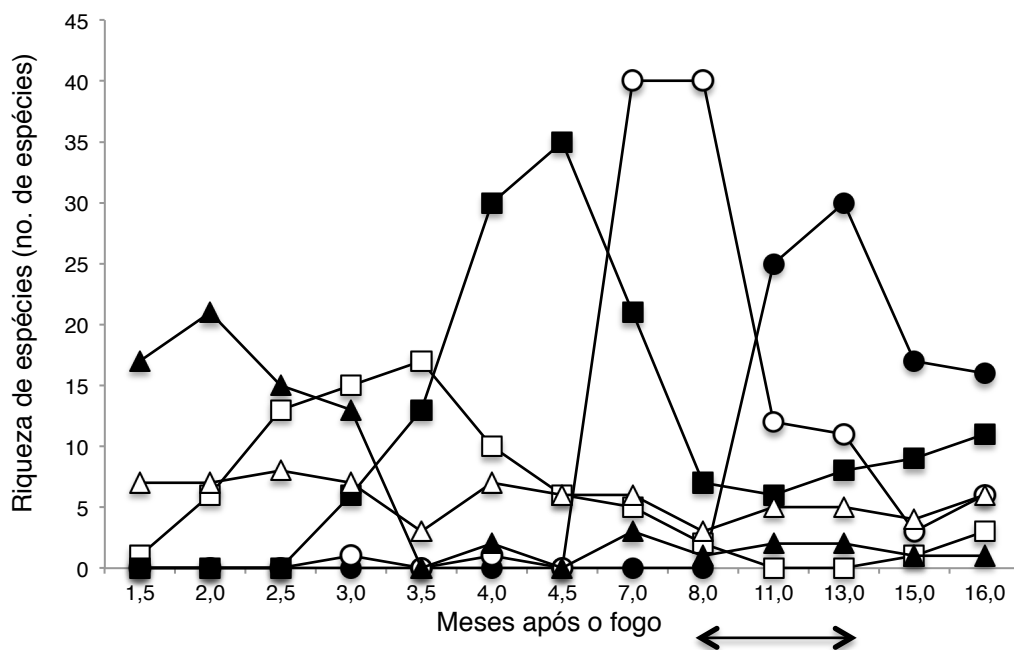


Figura 5. Número de espécies encontradas com flores e/ou frutos ao longo do tempo em todas as áreas de cerrado, mata-de-galeria e borda em cada um dos seis grupos de espécies (triângulo cheio=logo após a passagem do fogo; quadrado vazio=início da estação chuvosa; quadrado cheio=final da estação

chuvosa; círculo vazio=transição final da estação chuvosa-início da seca; círculo cheio=floração e/ou frutificação 1 ano após a passagem do fogo; triângulo vazio=tudo o levantamento). A seta representa a estação seca.

Após o fogo a taxa de ingresso de novas espécies com flores e/ou frutos na comunidade foi alta (total de 92 espécies nos primeiros quatro meses após o fogo) e diminuiu ao longo do tempo (total de 97 espécies em 1 ano). Embora novas espécies com flores e/ou frutos continuassem aparecendo 16 meses após o fogo (7 espécies), a comunidade tem tendência à estabilidade (Figura 6a).

Apesar do grupo mais numeroso nas análises de agrupamento ter sido o de espécies que apareceram com flores e ou frutos à partir de um ano após o fogo, o número máximo de espécies florescendo e/ou frutificando ocorreu quase 7 meses após o fogo (75 espécies, porque os grupos de final da estação chuvosa e transição final da chuvosa-início da seca se somaram; Figura 6b), no final da estação chuvosa e início da seca (abril de 2012). Um ano após o fogo o número de espécies com flores e/ou frutos nas parcelas (56) foi mais que o dobro do número de espécies no primeiro levantamento (25; Figura 6b); apenas seis espécies (consideradas perenes) foram comuns aos dois levantamentos: *Eriope crassipes*, *Euphorbia* sp., *Dalechampia caperonioides*, *Lippia* cf. *rotundifolia*, *Myrcia torta*, *Pavonia rosa-campestris*. O número de espécies florescendo e/ou frutificando na estação chuvosa logo após o fogo (33 espécies, 3 meses após o fogo) foi semelhante ao número de espécies na estação chuvosa 1 ano após o fogo (35 espécies, 15 meses após; Figura 6b). Entretanto, apenas seis espécies foram comuns a ambos os levantamentos, as perenes: *Cissus erosa*, *Cuphea spermacoce*, *Dalechampia caperonioides*, *Echinolaena inflexa*, *Ichthyothere latifolia*, *Rhynchospora albiceps*.

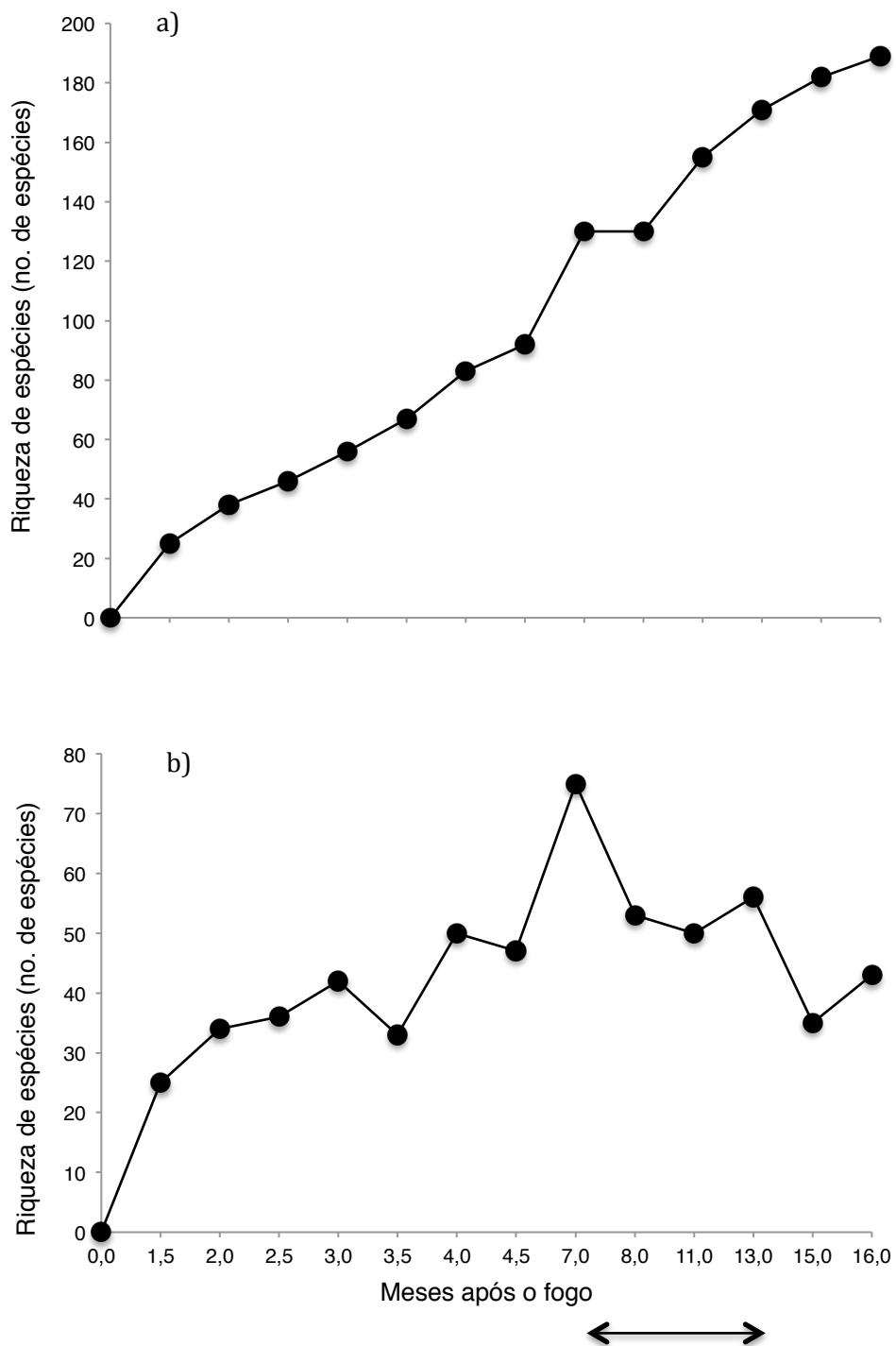


Figura 6. Curva de acumulação de espécies (a) e número total de espécies (b) encontradas com flores e/ou frutos em cada medida ao longo do tempo em todas as áreas de cerrado, mata-de-galeria e borda. A seta representa o período da estação seca.

A riqueza de espécies em flor e/ou fruto durante todo o estudo foi diferente entre os três tipos de ambiente ao considerar os dois tratamentos: maior no cerrado do que na borda e mata, e maior na borda do que na mata-de-galeria (Tabela 3/a). Em relação à adição de nutrientes, houve diferença na riqueza de espécies em algumas datas de coleta (especialmente nos meses da estação chuvosa), com maiores valores nas áreas controle (Tabela 3/b).

Tabela 3. Riqueza de espécies em flor ou em fruto por parcela (100m²) em relação aos habitats (a) e tratamentos (b) (mediana e quartil 25 e 75%) e valores de p das comparações entre cerrado, borda e mata-de-galeria, quando considerados os dois tratamentos (a) e comparações entre tratamento controle e nutrientes quando considerados os três habitats (b) (Teste de Wilcoxon). A área sombreada representa a estação seca.

(a)	cerrado	borda	mata	p	(b) controle	nutrientes	p
21/10/11	4 (1; 6)	1 (0; 3)	0 (0; 0)	<0,0001*	1 (0; 6)	0 (0; 1)	0,0148*
05/11/11	7 (2; 9)	2 (0; 5)	0 (0; 0)	<0,0001*	2 (0; 9)	0 (0; 4)	0,0982ns
18/11/11	6 (2; 9)	2 (0; 3)	0 (0; 0)	<0,0001*	1 (0; 9)	1 (0; 3)	0,0759ns
04/12/11	4 (2; 7)	1 (0; 3)	0 (0; 0)	<0,0001*	1 (0; 7)	0 (0; 2)	0,1550ns
17/12/11	4 (2; 6)	0 (0; 2)	0 (0; 0)	<0,0001*	2 (0; 5)	0 (0; 2)	0,0301*
04/01/12	6 (3; 9)	1 (0; 3)	0 (0; 0)	<0,0001*	2 (0; 8)	0 (0; 3)	0,0222*
14/01/12	6 (3; 8)	1 (0; 2)	0 (0; 0)	<0,0001*	2 (0; 8)	0 (0; 3)	0,0744ns
24/03/12	10 (7; 12)	1 (0; 3)	0 (0; 0)	<0,0001*	3 (0; 11)	1 (0; 7)	0,2365ns
11/05/12	6 (4; 8)	1 (0; 2)	0 (0; 0)	<0,0001*	2 (0; 7)	1 (0; 4)	0,2457ns
16/08/12	5 (5; 8)	1 (0; 5)	0 (0; 0)	<0,0001*	2 (0; 6)	0 (0; 5)	0,0856ns
08/10/12	6 (3; 11)	1 (0; 4)	0 (0; 0)	<0,0001*	1 (0; 10)	0 (0; 3)	0,0251*
10/12/12	3 (1; 5)	1 (0; 2)	0 (0; 0)	<0,0001*	1 (0; 5)	0 (0; 1)	0,0071*
04/01/13	4 (1; 7)	0 (0; 3)	0 (0; 0)	<0,0001*	2 (0; 7)	0 (0; 1)	0,0038*

* significância a 5% de probabilidade; ns não significativo.

Nas áreas de cerrado a riqueza de espécies foi menor nas áreas sujeitas à adição de nutrientes (a única exceção foi o mês de agosto: Tabela 4/a). Na maioria das datas de coleta a riqueza de espécies das áreas fertilizadas de borda não diferiu da riqueza das áreas controle de borda (Tabela 4/b). As áreas de mata não foram comparadas entre os tratamentos, porque a maior parte das parcelas não apresentou nenhuma espécie ao longo do tempo (Tabela 3).

A riqueza de espécies nas parcelas onde *Melinis minutiflora* esteve presente não diferiu ($t=-0,72793$; $p=0,4714$) das parcelas onde o capim não estava presente.

Tabela 4. Riqueza de espécies no cerrado (a) e borda (b) em flor ou em fruto por parcela (100m²) em relação aos tratamentos (mediana e quartil 25 e 75%) e valores de p das comparações entre os tratamentos (Teste de Wilcoxon). A área sombreada representa a estação seca.

(a)	controle	nutrientes	p	(b) controle	nutrientes	p
21/10/11	6 (5; 8)	1 (1; 3)	0,0004*	2 (1; 4)	0 (0; 1)	0,0419*
05/11/11	9 (7; 12)	3 (2; 7)	0,0007*	3 (2; 8)	1 (0; 4)	0,2240ns
18/11/11	9 (8; 12)	3 (1; 5)	<0,0001*	2 (1; 7)	2 (0; 2)	0,3700ns
04/12/11	7 (3; 12)	3 (2; 5)	0,0087*	2 (0; 7)	1 (0; 1)	0,2043ns
17/12/11	5 (4; 7)	3 (1; 5)	0,0059*	2 (0; 3)	0 (0; 0)	0,0219*
04/01/12	9 (6; 11)	4 (2; 7)	0,0005*	3 (1; 8)	0 (0; 0)	0,0165*
14/01/12	8 (6; 11)	4 (2; 7)	0,0008*	2 (1; 7)	1 (0; 1)	0,0652ns
24/03/12	11 (9; 14)	8 (6; 10)	0,0081*	3 (1; 8)	1 (0; 1)	0,0463*
11/05/12	8 (6; 9)	5 (4; 7)	0,0102*	2 (1; 4)	1 (0; 1)	0,0755ns
16/08/12	6 (5; 12)	5 (3; 7)	0,1282ns	4 (1; 7)	0 (0; 2)	0,0557ns
08/10/12	10 (7; 13)	3 (2; 5)	0,0009*	4 (1; 5)	0 (0; 1)	0,0260*
10/12/12	5 (3; 8)	1 (0; 3)	<0,0001*	2 (1; 5)	1 (0; 1)	0,0755ns
04/01/13	7 (4; 10)	1 (0; 3)	<0,0001*	3 (0; 6)	0 (0; 1)	0,0490*

* significância a 5% de probabilidade; ns não significativo.

Quando não considerei os tratamentos, a riqueza de espécies florescendo e/ou frutificando foi positivamente associada com o gradiente mata-de-galeria-cerrado durante todo o levantamento ($\rho>0,65$ e $p<0,001$ para todas as datas de coleta). Quando a interação entre os tratamentos e o gradiente foi levada em conta, a riqueza de espécies dos gradientes sujeitos à adição de nutrientes diferiu dos gradientes controles no meio da estação chuvosa (dezembro e janeiro de 2012) e meio da estação seca (agosto de 2012) ($p<0,05$) (Tabela 5). Nas outras datas não há diferença na riqueza de espécies com flor e/ou fruto ao longo do gradiente em relação aos tratamentos.

Tabela 5. Modelo linear generalizado para prever a riqueza de espécies herbáceas em função dos tratamentos (fertilização e controle) e ao longo do

gradiente (cerrado-borda-mata-de-galeria) durante o período de estudo. A área sombreada representa a estação seca.

	coeficientes	χ^2	p
21/10/11	-0,0118±0,0070	3,1367	0,0765ns
05/11/11	-0,0054±0,0049	1,2674	0,2602ns
18/11/11	-0,0045±0,0053	0,7274	0,3937ns
04/12/11	-0,0121±0,0062	4,1176	0,0424*
17/12/11	-0,0183±0,0074	7,0790	0,0078*
04/01/12	-0,0139±0,0058	6,5489	0,0105*
14/01/12	-0,0150±0,0057	7,8798	0,0050*
24/03/12	-0,0035±0,0037	0,9124	0,3395ns
11/05/12	-0,0023±0,0043	0,2811	0,5960ns
16/08/12	-0,0127±0,0050	7,0550	0,0079*
08/10/12	-0,0016±0,0049	0,1035	0,7476ns
10/12/12	-0,0087±0,0060	2,0103	0,1562ns
04/01/13	-0,0024±0,0065	0,1323	0,7160ns

* significância a 5% de probabilidade; ns não significativo.

DISCUSSÃO

As famílias mais abundantes de espécies herbáceas florescendo e frutificando no gradiente cerrado-mata-de-galeria, dentro dos 16 meses de acompanhamento após o fogo, foram Asteraceae, Poaceae e Fabaceae. O mesmo resultado foi observado em levantamentos florísticos realizados por Munhoz (2003) e Amaral (2008) em comunidades de campo sujo e campo limpo úmido após eventos de queima no Distrito Federal. Neves & Damasceno-Júnior (2011) encontraram elevado número de espécies de Asteraceae e Fabaceae florescendo e frutificando em campo sujo após o fogo no Mato Grosso do Sul. De fato, tais famílias são dominantes no componente não lenhoso da flora do bioma Cerrado (Mendonça et al., 1998; Filgueiras, 2002) e em levantamentos florísticos realizados na Reserva Ecológica do IBGE em áreas campestres e savânicas de Cerrado protegidas do fogo (Pereira & Silva, 2011).

As análises de agrupamento quanto à época em que as espécies apareceram com flores e/ou frutos apontaram seis grupos de espécies, em ordem de importância: floração e/ou frutificação um ano após o fogo (grupo com mais espécies), final da estação chuvosa e na transição estação chuvosa-início da seca (com o mesmo número de espécies cada), logo após a passagem do fogo, no

início da estação chuvosa e de reprodução contínua e indiferentes ao fogo, que mantiveram flores ou frutos durante todo o período de levantamento. Este trabalho mostrou poucas espécies aparentemente estimuladas pelo fogo (25), mas a queima pode atuar como um fator sincronizador de um grande número de espécies herbáceas e subarborescentes cuja floração é normalmente irregular e que então tenderiam a florescer semanas após a passagem do fogo (Coutinho, 1982; Munhoz & Felfili, 2005; Neves & Damasceno-Júnior, 2011). Ao mesmo tempo o grande número de espécies se reproduzindo somente à partir de um ano após o fogo na área estudada pode indicar que elas estavam no período reprodutivo no momento da queimada.

César (1980) agrupou as espécies do estrato herbáceo que apareceram com flores logo após a queimada em: (1) indicadoras estritas, que só floresceram mediante fogo ou corte; (2) indicadoras não estritas, que apresentaram resposta fenológica, mas que mantêm um período reprodutivo independente da ação do fogo ou corte; (3) indicadoras estritas indiferentes, que floresceram quando sujeitas à queima ou corte, indiferentes à época de aplicação dos tratamentos, e que não foram encontradas em áreas controle; e (4) indicadoras prováveis, que só apareceram em parcelas queimadas, mas para as quais não há dados suficientes para se chegar a alguma conclusão. Já Coutinho (1976) verificou que a resposta de floração das plantas após o fogo varia de acordo com a época de queima e demonstrou cinco padrões de resposta de floração entre espécies herbáceas do cerrado: (1) espécies que dependem qualitativa ou quantitativamente da queimada para florescer; (2) espécies que dependem qualitativa ou quantitativamente da queimada para florescer, mas que só florescem se a queimada for feita na seca; (3) espécies que independem qualitativa ou quantitativamente da queimada para florescer; (4) espécies que independem qualitativamente da queimada para florescer, mas quantitativamente são prejudicadas pela queimada; (5) espécies com ciclo plurianual de floração.

Os dois autores não agruparam as espécies conforme a época de reprodução após o fogo, mas as indicadoras estritas e prováveis (segundo César, 1980) podem ser igualadas com o grupo das espécies que se reproduziram após a passagem do fogo, por causa do curto tempo entre os tratamentos e a floração,

sendo três espécies foram comuns a ambos os levantamentos (*Eriope crassipes*, *Paspalum ammodes*, *Piriqueta sidifolia*); enquanto *Aspilia foliacea*, *Leptocoryphium lanatum* e *Sebastiania ditassoides* foram consideradas não estritas por César (1980), mas com reprodução estimulada pelo fogo por este trabalho. De modo geral, as plantas com capacidade para reprodução e dispersão rápida, podem ser temporariamente favorecidas conforme novos nichos aparecem em locais queimados. Segundo César (1980) a ocorrência de um ciclo reprodutivo em resposta rápida ao fogo pode indicar estratégia de sobrevivência mais eficiente para esses tipos de plantas, pois a eliminação da camada gramínea proporciona maior visibilidade das flores aos agentes polinizadores, favorecendo os cruzamentos. Assim, em ambientes expostos a queimadas frequentes plantas que necessitam de um menor período de tempo para produzirem sementes após uma queimada teriam vantagem sobre as que necessitam de longos períodos de tempo para alcançar a maturidade reprodutiva em resposta a um evento de queima.

Após o fogo a taxa de ingresso de novas espécies com flores e/ou frutos na comunidade foi alta, mas diminuiu com o tempo (16 meses). Outros estudos em fisionomias de Cerrado demonstraram intervalos de tempo semelhantes para que a riqueza de espécies e a biomassa alcançassem os valores pré-fogo (15 meses em Batmanian & Haridasan, 1985 e 11 meses em Cardoso et al., 2000).

Diversos autores apontam a fenologia de floração e frutificação de espécies herbáceas de savanas tropicais orientada para a estação chuvosa, como em uma comunidade de cerrado no planalto central (Batalha & Martins, 2004), em uma comunidade de campo sujo e uma de campo úmido em São Paulo (Tannus et al., 2006), em uma savana venezuelana (Silva & Ataroff, 1985) e em três comunidades de cerrado (cerrado denso, cerrado *sensu stricto* e campo sujo) no Distrito Federal (Salazar et al., 2011). Como já dito, sujeitas à queima plantas com distintas estratégias fenológicas podem ter o fogo como agente sincronizador (e modificador) do período de floração e frutificação ao longo de diversas comunidades campestres no Brasil (Ostertag & Menges, 1994; Munhoz & Felfili, 2005; Overbeck & Pfadenhauer, 2007; Neves & Damasceno-Júnior, 2011). Apesar de tal efeito sincronizador, o pico de reprodução na área estudada se deu cerca de sete meses após o fogo e muitas espécies se reproduziram

apenas à partir de um ano após a queima, ou seja, parecem ser independentes da ação do fogo. Lamont & Downes (2011) argumentam que o pico de floração de ecossistemas savânicos queimados da África do Sul aconteceu entre um e sete meses. O fogo que ocorre fora da estação de crescimento, uma vez que os recursos estão menos disponíveis, exerce efeitos distintos sobre a composição de espécies quando comparado a um durante a estação de crescimento (Howe, 1984; Towne & Kemp, 2008) e estimula as plantas a apresentarem um padrão de floração de duração estendida, de baixa intensidade e com muitas espécies (Platt et al., 1988), que está de acordo com o observado neste estudo.

O resultado mais consistente ao longo de todas as datas de coleta foi o da maior riqueza de espécies herbáceas com flores e/ou frutos nos ambientes de cerrado, borda e mata, nessa ordem de importância. Assim, observei um gradiente de diminuição de espécies herbáceas acompanhando o gradiente cerrado-mata de galeria. No oeste da África a massa seca do estrato herbáceo caiu para menos da metade (de 900 para 400 gm^{-2}) indo de um ambiente de savana para floresta (Hennenberg et al., 2006). O bioma Cerrado é considerado uma savana, com um estrato graminoso contínuo e um estrato arbóreo descontínuo (Rizzini, 1976; Eiten, 1982). É portanto intrínseco à esse bioma a maior riqueza de espécies herbáceas do que em ambiente de mata e o resultado encontrado corrobora isso. A proporção de hábito herbáceo-subarbustivo para o arbóreo foi de 4,5:1 em um levantamento da flora vascular do Cerrado (Mendonça et al., 1998), enquanto foi de 1,1:1 em um levantamento da flora fanerogâmica nas matas de galeria e ciliares (Felfili et al., 2001). As alterações na disponibilidade de nutrientes, entre outros fatores, influenciam as mudanças no tipo de vegetação da transição savana-floresta (Furley, 2007). O crescimento lento e as copas abertas das espécies arbóreas de Cerrado favorecem o estrato rasteiro; ao contrário o dossel denso e o crescimento mais rápido de espécies de ambiente de mata (comparado ao das espécies de cerrado) suprimem as espécies herbáceas pelo sombreamento (Scholes & Archer, 1997; Hoffmann et al., 2004; Hennenberg et al., 2006; Rossatto et al., 2009; Geiger et al., 2011). As áreas de borda mais iluminadas do que as de floresta, dividiram muitas espécies com as de cerrado (67) e daí sua riqueza maior de espécies herbáceas do que no interior da mata de galeria.

Hoffmann et al. (2004) observaram baixo estabelecimento de espécies arbóreas de Cerrado dentro do ambiente denso de mata e, concordando com esse resultado, este trabalho mostrou poucas espécies herbáceo-subarborescentes presentes nos três ambientes (cerrado, borda e mata). Todavia, se o fogo torna-se mais frequente e a luminosidade alcançando os estratos inferiores aumenta, o número de espécies herbáceas tenderá a aumentar no ambiente de mata. Em uma floresta de galeria queimada em Belize os níveis de luz alcançando o estrato inferior chegaram a quase 12 vezes o nível de uma mata fechada e com isso muitas plântulas apareceram, especialmente de plantas herbáceas (Kellman & Meave, 1997). Esse maior aparecimento de plantas herbáceas poderá favorecer a penetração do fogo mais profundamente na floresta quando da próxima queimada (Kauffman et al., 1994). Observou-se maior registro de espécies herbáceas (26) incluindo a invasora *M. minutiflora* nas parcelas de mata mais próximas à borda que indicam expansão da floresta em área de cerrado e que com a entrada do fogo pode recuar.

Com relação aos efeitos da fertilização, as parcelas de cerrado sem adição de nutrientes foram mais ricas em espécies florescendo e frutificando do que as parcelas sujeitas à adubação, confirmando o resultado comumente encontrado para riqueza de espécies em comunidades de plantas sob adição de nutrientes (Goldberg & Miller, 1990). Embora para Villela & Haridasan (1994) a calagem não resultou em aumento da produtividade primária de espécies do estrato rasteiro do Cerrado, a adição de um recurso limitante deve levar a um aumento na produtividade (Foster & Gross, 1998; Storm & Süß, 2008; Gao et al., 2011) e a uma conseqüente diminuição na diversidade de espécies em áreas campestres e savânicas (Foster & Gross, 1998; Stevens et al., 2006; Bobbink et al., 2010; Dickson & Foster, 2011). Bustamante et al. (2012) encontraram aumento de biomassa e significativa redução na diversidade de espécies herbáceas de Cerrado em tratamentos de adição de nitrogênio e fósforo.

Neste estudo, quando todas as parcelas e as áreas de borda foram consideradas, em geral, a estação chuvosa salientou as diferenças entre os tratamentos, sendo a riqueza de espécies menor nas áreas com adição de nutrientes. Sob efeito de elevada disponibilidade de nutrientes no solo, as plantas possuem maior sensibilidade ao estresse hídrico na época seca (Maestre

& Reynolds, 2007); outrossim o incremento de água na estação chuvosa pode ressaltar o efeito da adição de nutrientes, aumentando a produtividade de algumas espécies competitivamente superiores e diminuindo a riqueza de espécies, especialmente espécies herbáceas do Cerrado que acessam água das camadas mais superficiais do solo (Ferri & Coutinho, 1958; Rossatto et al., 2012).

Em uma meta-análise de experimentos de fertilização em áreas de campo nos EUA, Gough et al. (2000) testaram a hipótese de que a magnitude de resposta na densidade de espécies à fertilização nutricional seria relacionada à produtividade inicial da comunidade, ou seja locais de baixa produtividade mostrariam maior aumento relativo do que áreas de alta produtividade. As áreas de cerrado *sensu stricto* estudadas, a despeito de estarem em condições de baixa fertilidade natural dos solos, possuem alta densidade de indivíduos arbóreos adultos (Geiger et al., 2011), de média a elevada produção de biomassa lenhosa e não lenhosa quando comparadas à outras fisionomias de Cerrado (Ottmar et al., 2001) e podem ser consideradas áreas de média a alta produtividade. Desse modo, nosso resultado de redução da riqueza em resposta à fertilização confirma que comunidades mais produtivas são afetadas pela fertilização e aponta que fisionomias menos produtivas, tais como as fisionomias campestres do bioma Cerrado, devem responder ainda mais significativamente, diminuindo a riqueza de espécies herbáceas e sub-arbustivas.

Com a fertilização, aumentam o crescimento e adensamento de espécies herbáceas competitivamente superiores, ou dominantes (de acordo com Grime, 1998) aumentando sua produtividade. Gramíneas são especialmente beneficiadas pela adição de nitrogênio (Foster & Gross, 1998; De Schrijver et al., 2011). As plantas sujeitas à adubação têm aumento da área foliar e conseqüentemente reduzem a luminosidade que alcança o estrato inferior (Stevens et al., 2006; Braga, 2010). Assim, o sombreamento do estrato inferior e de espécies competitivamente inferiores (as subordinadas ou transientes segundo o mesmo autor) pode levar à mortalidade dessas plantas e causar uma diminuição da riqueza total de espécies (Goldberg & Miller, 1990; Braga, 2010), especialmente no Cerrado, uma vez que as espécies herbáceas e subarbustivas são intolerantes à sombra (Eiten, 1982; Coutinho, 1982).

A menor riqueza de espécies observada nas áreas fertilizadas não pode ser associada com a presença de capim-gordura, pois não houve diferença entre a riqueza de espécies onde *M. minutiflora* esteve e não esteve presente. Hoffmann & Haridasan (2008) observaram que não houve efeito de *M. minutiflora* sobre a emergência de plântulas, mas que essa espécie negativamente afetou a sobrevivência das plântulas de algumas espécies arbóreas de Cerrado. Portanto, ao formarem densa camada de biomassa as plantas invasoras reduzem a luminosidade na superfície do solo e limitam a sobrevivência das espécies do estrato rasteiro. O período de estudo (de 16 meses) foi curto para observar essa limitação à sobrevivência, mas especula-se que as espécies herbáceas nativas encontradas nas parcelas invadidas podem vir a desaparecer com o adensamento por capim-gordura ao longo de mais tempo. Muitos autores salientam a preocupação com espécies invasoras dominantes como *M. minutiflora*, pois elas vem substituindo espécies de gramíneas, de herbáceas e arbóreas nativas (Hughes & Vitousek, 1993; Pivello et al., 1999; Hoffmann & Franco, 2003; Veldman & Putz, 2011) tornando as áreas ainda mais suscetíveis à perturbações e à passagem do fogo (Martins et al., 2004).

Apesar da ausência de relação entre a riqueza de espécies herbáceas e a presença de capim gordura, *M. minutiflora* esteve associada com as subparcelas de cerrado (apenas uma subparcela de borda e uma de mata registraram a presença da espécie) e com a adição de nutrientes (das 17 subparcelas de cerrado adubadas, 15 registraram indivíduos de capim-gordura florescendo e frutificando em agosto de 2012, pico da atividade reprodutiva dessa espécie na área estudada). Esse resultado está de acordo com o de outros estudos que mostraram dominância de capim-gordura em áreas de cerrado onde a fertilidade foi mais alta (Freitas & Pivello, 2005; Veldman & Putz, 2011; Bustamante et al., 2012) e confirma o estudo de Saraiva et al. (1993) onde o crescimento de *M. minutiflora* em solo de Cerrado foi limitado pela disponibilidade de fósforo.

O baixo número de espécies nas áreas fertilizadas de mata não permitiram testar o efeito da adição de nutrientes sobre a riqueza de espécies neste ambiente, mas De Schrijver et al. (2011) salientam que a biomassa e riqueza de espécies do sub-bosque de áreas florestais não mostram resposta significativa à adição de nitrogênio.

O modelo linear generalizado permitiu prever se o número de espécies em uma dada subparcela foi função da interação entre os tratamentos e os ambientes, representando que os gradientes controle tiveram padrão de distribuição de espécies diferente dos gradientes fertilizados. Isso ocorreu em dois momentos, nas datas de meio da estação chuvosa e meio da estação seca. Em uma das datas de estação chuvosa (04 de janeiro de 2012) o gradiente controle apresentou mediana de 9:3:0 (cerrado: borda: mata) espécies herbáceas com flor e ou fruto e o gradiente fertilizado apresentou 4:0:0 espécies. Na estação seca (16 de agosto) o gradiente controle apresentou mediana de 6:4:0 espécies herbáceas com flor e ou fruto e o gradiente fertilizado apresentou 5:0:0 espécies. Observa-se que a diferença entre os tratamentos é condicionada pela maior riqueza das áreas de cerrado e borda. Porém, na maior parte das datas de levantamento os gradientes fertilizado e controle tiveram riqueza de espécie semelhante. Assim, a adubação não alterou o padrão natural pré-fogo de transição entre os ambientes na Reserva Ecológica do IBGE (ao menos durante o período de estudo e no que se refere à riqueza de espécies do componente herbáceo após o fogo). Esse padrão expressa: presença de elementos não arbóreos em áreas de mata de galeria correspondendo a cerca de 27% da flora desse ambiente (que é de 563 espécies no total) e predominância de espécies herbáceas nas fisionomias savânicas (cerca de 69% de um total de 685 espécies) (ver flora fanerogâmica da Reserva em Pereira & Silva, 2011).

CONCLUSÕES

As espécies herbáceas tiveram distintos padrões fenológicos, mas poucas pareceram ser estimuladas pelo fogo. A adição de nutrientes resultou na diminuição da riqueza de espécies herbáceas com flores ou frutos após o fogo, especialmente em ambiente de cerrado. Mudanças na disponibilidade de nutrientes podem levar a importantes consequências para a diversidade dessa savana. As áreas adubadas tiveram mais registros de *M. minutiflora* (capim-gordura). Espécies invasoras dominantes como *M. minutiflora* vem substituindo espécies nativas tornando as áreas ainda mais suscetíveis à perturbações e à passagem do fogo. A riqueza de plantas herbáceas foi menor em áreas de mata-de-galeria quando comparadas à áreas de cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, A.G. 2008. Mudanças estruturais e florísticas do estrato herbáceo-arbustivo em campo sujo e campo limpo na Fazenda Água Limpa-DF após um período de sete anos. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Batalha, M.A; Aragaki, S. & Mantovani, W. 1997. Variações fenológicas das espécies do cerrado em Emas (Pirassununga, SP). *Acta Botanica Brasilica* 11:61-78.
- Batalha, M.A. & Martins, F.R. 2004. Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (central Brazil). *Australian Journal of Botany* 52:149-161.
- Batmanian, G.J. & Haridasan, M. 1985. Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. *Plant and Soil* 88:437-440.
- Bobbink, R.; Hicks, K.; Galloway, J.; Spranger, T.; Alkemade, R.; Ashmore, M.; Bustamante, M.; Cinderby, S.; Davidson, E.; Dentener, F.; Emmett, B.; Erisman, J-W.; Fenn, M.; Gilliam, F.; Nordin, A.; Pardo, L. & De Vries, W. 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications* 20(1):30–59.
- Braga, E.P. 2010. Relação entre parâmetros de radiação solar e espécies herbáceo-subarbustivas de cerrado sentido restrito no Jardim Botânico de Brasília. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Braz, M.S.S.; Souza, V.C.; Andrade, L.A.; Bruno, R.L.A.; Oliveira, L.S.B. & Silva, J.M. 2009. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All.ex. Benth) Leguminosae-Papilionoideae. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4: 67-71.
- Brewer, J.S. 2008. Geographic Variation in Flowering Responses to Fire and Season of Clipping in a Fire-Adapted Plant. *The American Midland Naturalist* 160(1):235-249.
- Bustamante, M.M.C.; Brito, D.Q.; Kozovits, A.R.; Luedemann, G.; Mello, T.R.B.; Pinto, A.S.; Munhoz, C.B.R. & Takahashi, F.S.C. 2012. Effects of nutrient

- additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savana (Cerrado). *Plant Ecology* 213:795-808.
- Cardoso, E.L.; Crispim, S.M.A.; Rodrigues, C.A.G. & Júnior, W.B. 2000. Composição e dinâmica da biomassa aérea após a queima em savana gramíneo-lenhosa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35(11):2309-2316.
- Cavalcanti, L.H. 1978. Efeito das cinzas resultantes da queimada sobre a produtividade do estrato herbáceo subarbustivo do cerrado de Emas. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- César, H.L. 1980. Efeitos da queima e corte sobre a vegetação de campo sujo na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Clark, J.S. 1989. Ecological Disturbance as a Renewal Process: Theory and Application to Fire History. *Oikos* 56(1):17-30.
- Correia, J.R.; Haridasan, M.; Reatto, A.; Martins, E.S. & Walter, B.M.T. 2001. Influência de fatores edáficos na distribuição de espécies arbóreas em matas de galeria na região do cerrado: uma revisão. In: Ribeiro, J.F.; Fonseca, C.E.L. Sousa-Silva, J.C. (Eds.) *Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria*. EMBRAPA-CPAC. Planaltina. pp.51-78.
- Coutinho, L.M. 1976. Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do Cerrado. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Coutinho, L.M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (Eds.) *Ecology of tropical savanas*. Springer-Verlag. Berlin. pp.273-291.
- De Schrijver, A.; De Frenne, P.; Ampoorter, E.; Van Nevel, L.; Demey, A.; Wuyts, K. & Verheyen, K. 2011. Cumulative nitrogen input drives species loss in terrestrial ecosystems. *Global Ecology and Biogeography* 20:803–816.
- Dickson, T.L. & Foster, B.L. 2011. Fertilization decreases plant biodiversity even when light is not limiting. *Ecology Letters* 14:380–388.
- Eiten, G. Brazilian "Savannas". 1982. In: Huntley, B.J. & Walker, B.H. (Eds.) *Ecology of tropical savanas*. Springer-Verlag. Berlin. pp.25-47.

- Eugênio, C.U.O.; Munhoz, C.B.R. & Felfili, J.M. 2011. Dinâmica temporal do estrato herbáceo-arbustivo de uma área de campo limpo úmido em Alto Paraíso de Goiás, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 25(2):497-507.
- Felfili, J.M.; Rezende, A.V.; Júnior, M.C.S. & Silva, M.A. 2000. Changes in the Floristic Composition of Cerrado sensu stricto in Brazil over a Nine-Year. *Journal of Tropical Ecology* 16(4):579-590.
- Felfili, J.M.; Mendonça, R.C.; Walter, B.M.T.; Júnior, M.C.S.; Nóbrega, M.G.G.; Fagg, C.W.; Sevilha, A.C.; & Silva, M.A. 2001. Flora fanerogâmica das matas de galeria e ciliares do Brasil Central. In: Ribeiro, J.F.; Fonseca, C.E.L. & Sousa-Silva, J.C. (Eds.) *Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria*. EMBRAPA-CPAC. Planaltina. pp.195-266.
- Ferraz-Vicentini, K.R. & Salgado-Labouriau, M.L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brasil. *Journal of South American Earth Sciences* 9:207-219.
- Ferri, M.G. & Coutinho, L.M. 1958. Contribuição ao conhecimento da ecologia do cerrado. Estudo comparativo da economia d'água de sua vegetação, em Emas (Est. de São Paulo), Campo Grande (Est. de Mato Grosso) e Goiânia (Est. de Goiás). *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da USP* 15:103-150.
- Filgueiras, T.S. 2002. Herbaceous plant communities. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (Eds.) *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press. New York. pp.121-139.
- Foster, B.L. & Gross, K.L. 1998. Species Richness in a sucessional grassland: effects of nitrogen enrichment and plant litter. *Ecology* 79(8):2593-2602.
- Franco, A.C., Rossatto, D.R., Silva, L.C.R. & Ferreira, C.S. 2014. Cerrado vegetation and global change: The role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising CO² levels and climate warming. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 26:1-15.
- Freitas, G.K. & Pivello, V.R. 2005. A ameaça das gramíneas exóticas à biodiversidade. In: Pivello, V.R. & Varanda, E.M. (Eds.) *O Cerrado Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga. São Paulo) - Ecologia e*

- Conservação. 1-ª ed. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo. pp.283-296.
- Frost, P.G.H. & Robertson, F. 1987. The ecological effects of fire in savannas. In: Walker, B.H. (Ed.) Determinants of tropical savannas. IUBS Monograph Series 3. IRL Press. Oxford. pp.93-140.
- Furley, P.A. 2007. Tropical savannas and associated forests: vegetation and plant ecology. *Progress in Physical Geography* 31:203-211
- Gao, Y.Z.; Chen, Q.; Lin, S.; Giese, M. & Brueck, H. 2011. Resource manipulation effects on net primary production, biomass allocation and rain-use efficiency of two semiarid grassland sites in Inner Mongolia, China. *Oecologia* 165:855-864.
- Geiger, E.L.; Gotsch, S.G.; Damasco, G.; Haridasan, M.; Franco, A.C. & Hoffmann, W.A. 2011. Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration under fire suppression in a Brazilian savanna. *Journal of Vegetation Science* 22:312-321.
- Goldberg, D.E. & Miller, T.E. 1990. Effects of Different Resource Additions of Species Diversity in an Annual Plant Community. *Ecology* 71(1):213-225.
- Gottsberger, G. & Silberbauer-Gottsberger, I. 1983. Dispersal and distribution in the cerrado vegetation of Brazil. *Sonderbände des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg* 7:315-353.
- Gough, L.; Osenberg, C.W.; Gross, K.L. & Collins, S.L. 2000. Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities. *Oikos* 89:428-439.
- Grime, J.P. 1998. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology* 86:902-910.
- Guimarães, L.V.; Barberi, M. & Rubin, J.C.R. 2003. Registro de queimadas durante o holoceno, na área de abrangência da bacia hidrográfica do alto curso do rio Meia Ponte - Goiás, Brasil. In: Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.
- Haridasan, M. 1992. Observations on soils, foliar nutrient concentrations, and floristic composition of cerrado and cerradão communities in central Brazil. In: Proctor, J.; Ratter, J.A. & Furley, P.A. (Eds.) *The Nature and*

- Dynamics of forest-savanna boundaries. Chapman & Hall. London. pp.171-184.
- Hennenberg, K.J.; Fischer, F.; Kouadio, K.; Goetze, D.; Orthmann, B.; Linsenmair, K.E.; Jeltsch, F. & Porembski, S. 2006. Phytomass and fire occurrence along forest-savanna transects in the Comoé National Park. Ivory Coast. *Journal of Tropical Ecology* 22(3):303 – 311.
- Hoffmann, W.A. & Franco, A.C. 2003. Comparative growth analysis of tropical Forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *Journal of Ecology* 91:475-484.
- Hoffmann, W.A.; Orthen, B. & Franco, A.C. 2004. Constraints to Seedling Success of Savanna and Forest Trees across the Savanna-Forest Boundary. *Oecologia* 140(2):252-260.
- Hoffmann, W.A. & Haridasan, M. 2008. The invasive grass, *Melinis minutiflora*, inhibits tree regeneration in a Neotropical savanna. *Austral Ecology* 33:29–36.
- Hoffmann, W.A.; Adasme, R.; Haridasan, M.; Carvalho, M.T.; Geiger, E.L.; Gotsch, S.G. & Franco, A.C. 2009. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. *Ecology* 90:1326–1337.
- Hoffmann, W.A.; Geiger, E.L.; Gotsch, S.G.; Rossatto, D.R.; Silva, L.C.R.; Lau, O.L.; Haridasan, M. & Franco, A.C. 2012. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters* 15:759-768.
- Howe, H.F. 1994. Response of Early- and Late-Flowering Plants to Fire Season in Experimental Prairies. *Ecological Applications* 4(1):121-133.
- Hughes, F. & Vitousek, P.M. 1993. Barriers to shrub reestablishment following fire in the seasonal submontane zone of Hawai'i. *Oecologia* 93:557-563.
- Kauffman, J.B.; Cummings, D.L. & Ward, D.E. 1994. Relationships of Fire, Biomass and Nutrient Dynamics along a Vegetation Gradient in the Brazilian Cerrado. *Journal of Ecology* 82(3):519-531.
- Kellman, M. 1984. Synergistic Relationships Between Fire and Low Soil Fertility in Neotropical Savannas: A Hypothesis. *Biotropica* 16(2): 158-160.

- Kellman, M. & Meave, J. 1997. Fire in the tropical gallery forests of Belize. *Journal of Biogeography* 24:23-34.
- Klink, C.A. 1994. Effects of Clipping on Size and Tillering of Native and African Grasses of the Brazilian Savannas (The Cerrado). *Oikos* 70(3):365-376.
- Lamont, B.B. & Downes, K.S. 2011. Fire-stimulated flowering among resprouters and geophytes in Australia and South Africa. *Plant Ecology* 212:2111-2125.
- Maestre, F.T. & Reynolds, J.F. 2007. Amount or pattern? Grassland responses to the heterogeneity and availability of two key resources. *Ecology* 88(2):501-511.
- Martins, C.M.; Leite, L.L. & Haridasan, M. 2004. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.). uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. *Revista Árvore* 28(5):739-747.
- Meira Neto, J.A.A. & Martins, F.R. 2003. Estrutura do sub-bosque herbáceo-subarbustivo da mata da silvicultura, uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa-MG. *Revista Árvore* 27(4):459-471.
- Mendonça, R.C.; Felfili, J.M.; Walter, B.M.T.; Júnior, M.C.S.; Rezende, A.V.; Filgueiras, T.S. & Nogueira, P.E. 1998. Flora Vascular do cerrado. In: Sano, S.M. & Almeida, S.P. (Eds.) *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina. Embrapa. pp.289-556.
- Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C. & Miranda, A.C. 2002. The fire factor. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (Eds.) *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press. New York. pp.51-68.
- Miranda, H.S.; Neto, W.N. & Neves, B.M.C. 2010. Caracterização das queimadas de cerrado. In: Miranda, H.S (Ed.) *Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: projeto de fogo*. Ibama. Brasília. pp.23-33.
- Monasterio, M. & Sarmiento, G. 1976. Phenological strategies of plant species in tropical savanna and the semi-deciduous forest of the Venezuelan Llanos. *Journal of Biogeography* 3:325-356.

- Munhoz, C.B.R. 2003. Padrões de distribuição sazonal e espacial do estrato herbáceo-subarbusivo em comunidades de campo limpo úmido e campo sujo. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasília.
- Munhoz, C.B.R. & Felfili, J.M. 2005. Fenologia do estrato herbáceo-subarbusivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19(4):979-988.
- Munhoz, C.B.R. & Felfili, J.M. 2008. Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbusivo em campo limpo úmido no Brasil Central. *Acta Botanica Brasilica* 22(4):905-913.
- Munhoz, C.B.R. & Amaral, A.G. 2010. Efeito do fogo no estrato herbáceo-subarbusivo. In: Miranda, H.S (Ed.) Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: projeto de fogo. Ibama. Brasília. pp.93-102.
- Neves, D.R.M. & Damasceno-Junior, G.A. 2011. Post-fire phenology in a campo sujo vegetation in the Urucum plateau, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 71(4):881-888.
- Oliveira, P.E. 1998. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de cerrado. In: Sano, S.M. & Almeida, S.P. (Eds.) Cerrado: ambiente e flora. Planaltina. Embrapa. pp.169-194.
- Ostertag, R. & Menges, E.S. 1994. Patterns of Reproductive Effort with Time since Last Fire in Florida Scrub Plants. *Journal of Vegetation Science* 5(3):303-310.
- Ottmar, R.D.; Vihnanek, R.E.; Miranda, H.S.; Sato, M.N. & Andrade, S.M.A. 2001. Séries de Estereo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do cerrado do Brasil Central – Volume I. Gen. Tech. Rep, Portland.
- Overbeck, G.E. & Pfadenhauer, J. 2007. Adaptive strategies in burned subtropical grassland in southern Brazil. *Flora* 202:27-49.
- Pereira, B.A.S. & Filgueiras, T.S. 1988. Levantamento qualitativo das espécies invasoras da Reserva Ecológica do IBGE, Brasília (DF), Brasil. *Cadernos de Geociências* 1:29-38.
- Pereira, B.A.S. & Silva, M.A. 2011. Flora arbustivo-herbácea e gramíneas da Reserva Ecológica do IBGE. In: Ribeiro, M.L. (Ed.). Reserva Ecológica do

- IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, IBGE. Rio de Janeiro. pp.64-73
- Pinheiro, E.S. & Durigan, G. 2009. Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 32(3):441-454.
- Pivello, V.R.; Carvalho, V.M.C.; Lopes, P.F.; Peccinini, A.A. & Rosso, S. 1999. Abundance and distribution of native and alien grasses in a “cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve. *Biotropica* 31(1):71-82.
- Platt, W.J.; Evans, G.W. & Davis, M.M. 1988. Effects of Fire Season on Flowering of Forbs and Shrubs in Longleaf Pine Forests. *Oecologia* 76(3):353-363.
- Primack, R.B. & Kang, H. 1989. Measuring Fitness and Natural Selection in Wild Plant Populations. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20:367-396.
- Rajaniemi, T.K. 2002. Why does fertilization reduce plant species diversity? Testing three competition-based hypotheses. *Journal of Ecology* 90:316–324.
- Rheinheimer, D.S.; Santos, J.C.P.; Fernandes, V.B.B.; Mafra, A.L. & Almeida, J.A. 2003. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. *Ciência Rural* 33:49–55.
- Ribeiro, M.L. 2011. Reserva Ecológica do IBGE: Biodiversidade Terrestre. Vol 1. Tomo 1. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro.
- Rizzini, C.T. 1976. Tratado de fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. *Âmbito Cultural*, Rio de Janeiro.
- Rossatto, D.R.; Hoffmann, W.A. & Franco, A.C. 2009. Differences in growth patterns between co-occurring forest and savanna trees affect the forest-savanna boundary. *Functional Ecology* 23:689–698.
- Rossatto, D.R.; Silva, L.C.R.; Villalobos-Vega, R.; Sternberg, L.D.S.L. & Franco, A.C. 2012. Depth of water uptake in woody plants relates to groundwater level and vegetation structure along a topographic gradient in a neotropical savanna. *Environmental and Experimental Botany* 77:259–266.
- Ruggiero, P.G.C.; Batalha, M.A.; Pivello, V.R. & Meirelles, S.T. 2002. Soil-Vegetation Relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and Semideciduous Forest. Southeastern Brazil. *Plant Ecology* 160(1):1-16.

- Salazar, A.; Goldstein, G.; Franco, A.C. & Miralles-Wilhelm, F. 2011. Timing of seed dispersal and dormancy. rather than persistent soil seedbanks. control seedling recruitment of woody plants in Neotropical savanas. *Seed Science Research* 21(2):103 – 116.
- San-José, J.J. & Fariñas, M.R. 1991. Temporal changes in the structure of a *Trachypogon* savanna protected for 25 years. *Acta Oecologica* 12(2):237-247.
- Saraiva, O.D.; Carvalho, M.M.; Oliveira, F.T.T. 1993. Nutrientes limitantes ao crescimento de capim-gordura em um latossolo vermelho-amarelo álico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 284:963-968.
- Savadogo, P.; Tigabua, M.; Sawadogo, L. & Odén, P.C. 2009. Examination of multiple disturbances effects on herbaceous vegetation communities in the Sudanian savanna-woodland of WestAfrica. *Flora* 204:409-422.
- Scholes, R.J. & Archer, S.R. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28:517–544.
- Silva, J.F. & Ataroff, M. 1985. Phenology, seed crop and germination of coexisting grass species from a tropical savanna in Western Venezuela. *Acta Oecologica* 20(1):41-51.
- Silva, L.C.R.; Hoffmann, W.A.; Rossatto, D.R.; Haridasan, M.; Franco, A.C. & Horwath, W.R. 2013. Can savannas become forests? A coupled analysis of nutrient stocks and fire thresholds in central Brazil. *Plant and Soil* 373(1-2):829-842.
- Simon, M.F.; Grether, R.; de Queiroz, L.P.; Skema, C.; Pennington, R.T. & Hughes, C.E. 2009. Recent assembly of the cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proceedings of the National Academy of Science* 106: 20359–20364.
- Simon, M.F. & Pennington, T. 2012. Evidence for Adaptation to Fire Regimes in the Tropical Savannas of the Brazilian Cerrado. *International Journal of Plant Sciences* 173(6):711-723.
- Soares, J.J.; Souza, M.H.A.O. & Lima, M.I.S. 2006. Twenty years of post-fire plant succession in a “cerrado”, São Carlos, SP. Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 66(2B):587-602.

- Stevens, C.J.; Dise, N.B.; Mountford, J.O. & Gowing, D.J. 2004. Impact of Nitrogen Deposition on the Species Richness of Grasslands. *Science* 303:1876-1879.
- Stevens, M.H.H.; Shirk, R. & Steiner, C.E. 2006. Water and fertilizer have opposite effects on plant species richness in a mesic early successional habitat. *Plant Ecology* 183:27-34.
- Storm, C. & Süß, K. 2008. Are low-productive plant communities responsive to nutrient addition? Evidence from sand pioneer grassland. *Journal of Vegetation Science* 19:343-354.
- Tannus, J.L.S.; Assis, M.A. & Morellato, L.P.C. 2006. Reproductive phenology in dry and wet grassland in an area of Cerrado at Southeastern Brazil, Itirapina - SP. *Biota Neotropica* 6(3):1-27.
- Tilman, D. 1982. Resource competition and community structure. *Monographs on Population Biology* 17. Princeton University Press. Princeton.
- Towne, E.G. & Kemp, K.E. 2008. Long-Term Response Patterns of Tallgrass Prairie to Frequent Summer Burning. *Rangeland Ecology & Management* 61(5):509-520.
- Veldman, J.W. & Putz, F.E. 2011. Grass-dominated vegetation, not species-diverse natural savanna, replaces degraded tropical forests on the southern edge of the Amazon Basin. *Biological Conservation* 144:1419-1429.
- Villela, D.M. & Haridasan, M. 1994. Response of the ground layer community of a cerrado vegetation in central Brazil to liming and irrigation. *Plant and Soil* 163:25-31.
- Whittaker, R.H. 1975. *Communities and Ecosystems*. Macmillan Publishing Co. New York.

CONCLUSÕES GERAIS

Este estudo mostrou que a resposta à adição de nutrientes varia entre os componentes herbáceo-subarbustivo e arbustivo arbóreo, pois o crescimento e a produção de frutos de *Dalbergia miscolobium* e a produção de rebrotas aéreas e basais de *Dalbergia miscolobium*, *Eriotheca pubescens* e *Guapira noxia* não aumentaram em resposta a um aumento na disponibilidade de nutrientes minerais no solo. Apesar da aparente restrição nutricional imposta às espécies do Cerrado, essas parecem estar bem adaptadas à baixa qualidade nutricional dos solos. Por outro lado, a adição de nutrientes resultou na diminuição da riqueza de espécies herbáceas com flores ou frutos após o fogo, especialmente em ambiente de cerrado *sensu stricto*. Portanto, mudanças na disponibilidade de nutrientes podem levar a importantes consequências para a estrutura e diversidade dessa savana.