

LEANDRO DE SOUSA SOUTO

**PAPEL ECOLÓGICO DO FOGO E DAS SAÚVAS (*Atta spp.*) NA CICLAGEM DE
NUTRIENTES E CARBONO EM CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S728p
2007

Souto, Leandro de Sousa, 1977-
Papel ecológico do fogo e das saúvas (*Atta spp.*) na
ciclagem de nutrientes e carbono em cerrado. / Leandro
de Sousa Souto. – Viçosa, MG, 2007.
vii, 72f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Henrique Schoereder.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 64-72.

1. Formiga-cortadeira. 2. Ecologia do solo. 3. Ciclo
mineral (Biogeoquímica). 4. Seqüestro de carbono. 5.
Queimada. 6. Cerrados. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 595.796

LEANDRO DE SOUSA SOUTO

**PAPEL ECOLÓGICO DO FOGO E DAS SAÚVAS (*Atta spp.*) NA CICLAGEM DE
NUTRIENTES E CARBONO EM CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de julho de 2007.

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Co-Orientador)

Prof.^a Miryan Denise Araújo Coracini

Prof. Ronaldo Reis Júnior

Prof.^a Terezinha Maria Castro Della Lucia

Prof. José Henrique Schoederer
(Orientador)

“Não há experiências que bastem para provar que tenho razão; uma única experiência pode provar que estou errado”.

Albert Einstein

“Diligencie constantemente conservar o espírito livre, de modo a estar pronto para renunciar a qualquer hipótese, por muito amor que lhe tivesse.”

Charles Darwin

Aos meus pais, Ovídio e Catharina, meus irmãos Cássio, Plínio, Renata e Eduardo e à minha avó Emília, dedico...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho. Em especial, agradeço o imenso e constante apoio do meu orientador, Zhé, pela amizade, confiança e apoio, durante todos esses 5 anos de convívio. Aos co-orientadores Carlos Schaefer e Eraldo Lima, pela participação ativa, amizade e sugestões decisivas; ao professor Arne Janssen pelo auxílio na elaboração e na tradução dos artigos da tese; professor Kiniti Kitayama, pela eterna amizade e solicitude de sempre, aos amigos do curso e do laboratório de Ecologia de Comunidades, Carla, Beto, Marcelo Braga, Danete, Bob, Irá, Renata, Cezinha e Ângela, Óxito, Tereza, Marcos, Ilka, Gabriela, Marcy e Ethel, pela ajuda nas coletas de campo, revisão de manuscritos ou simplesmente pelo apoio quando precisei. Aos amigos de república, Beto, Adenir, Marcio, Thyago, André, Ramonin, Felipe – tempos inesquecíveis. Obrigado a professora Heloisa Miranda (UnB) e à Maria Iracema, Myriam e Betânia (RECOR/IBGE) pelo fornecimento de toda estrutura necessária a realização das coletas em Brasília. Aos professores Ângelo Pallini, Flávia Maria, Ronaldo Reis e Terezinha Della Lucia, pelas sugestões propostas nas bancas de qualificação e defesa final. Aos amigos Paulo e Aldo Zarbin, Miryan, Marcy, Marcos, Marcela, Marion... com vocês como companhia qualquer saída vira um evento!!! À Bianca, uma pessoa muito especial na minha vida. À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Entomologia pela oportunidade para a realização deste trabalho. À Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento de Pesquisa e Tecnologia (CNPq) e à The Nature Conservancy do Brasil pelo auxílio concedido.

OBRIGADO A TODOS VOCÊS!!!!

BIOGRAFIA

LEANDRO DE SOUSA SOUTO, filho de Ovídio de Sousa Souto e Catharina Alves de Souza, nasceu em Brasília, Distrito Federal, no dia 16 de abril de 1977.

Em 1993, iniciou o curso Técnico em Agropecuária, no Colégio Agrícola de Brasília, concluindo-o em 1995.

Em 1998 ingressou no Departamento de Parques e Jardins da NOVACAP, órgão do Governo do Distrito Federal, atuando como supervisor, permanecendo até março de 2002.

Licenciou-se no curso de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília (UnB) em março de 2001. Durante o período de graduação, foi bolsista da FINATEC e, posteriormente, do (CNPq/PIBIC) por dois anos, pelo Departamento de Zoologia, sob orientação do prof. Kiniti Kitayama.

Em abril de 2002, iniciou o curso de Mestrado em Entomologia, da Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua tese em julho de 2003.

Em agosto deste mesmo ano iniciou o curso de Doutorado, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2007.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1º CAPÍTULO: “Saúvas, queimadas e os nutrientes do solo.”.....	6
2º CAPÍTULO: “Saúvas, queimadas e a concentração foliar de nutrientes em espécies vegetais do cerrado.”.....	27
3º CAPÍTULO: “Características químicas do lixo de formigueiros de <i>Atta sexdens rubropilosa</i> Forel (Hymenoptera: Formicidae) mantidos com diferentes substratos”.....	41
4º CAPÍTULO: “Seqüestro de carbono por saúvas: efeitos diretos e indiretos.”.....	53
CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

RESUMO

SOUTO, Leandro de Sousa. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2007. **Papel ecológico do fogo e das saúvas (*Atta spp.*) na ciclagem de nutrientes e carbono em cerrado**. Orientador: José Henrique Schoereder. Co-Orientadores: Eraldo Rodrigues de Lima e Carlos Ernesto Goncalves Reynaud Schaefer.

Em ambientes distróficos, como as áreas de cerrado, a ciclagem de nutrientes é de fundamental importância para a manutenção, regulação e desenvolvimento desses habitats. O objetivo do presente trabalho foi testar uma hipótese sugerida há cerca de 20 anos, sobre um possível papel antagônico do fogo e das saúvas na ciclagem de nutrientes em cerrado. Segundo essa hipótese, o fogo aumentaria a concentração de nutrientes na superfície do solo, ao passo que nos saúveiros essa concentração seria maior nas camadas mais profundas. Esta estratificação de nutrientes poderia beneficiar espécies herbáceas e lenhosas de forma diferente. Esta hipótese foi testada por meio do estudo da influência do fogo e de saúveiros sobre a distribuição vertical de nutrientes no solo, a densidade de raízes e o status nutricional de duas espécies vegetais nativas do cerrado, em uma parcela submetida a queimadas frequentes e uma protegida do fogo há 27 anos. O fogo não alterou as propriedades químicas do solo, a densidade de raízes, nem o status nutricional da espécie vegetal lenhosa, em comparação a uma área controle. Entretanto, o fogo favoreceu o status nutricional da espécie herbácea estudada. Os saúveiros aumentaram as concentrações de nutrientes no solo e nas folhas das duas espécies vegetais estudadas. Além disso, os saúveiros apresentaram uma densidade de raízes cerca de 60% maior quando comparados aos locais sem a sua influência. Entretanto, na área queimada, o teor de nutrientes foi comparável ao solo da área controle (sem a influência de saúveiros). Possivelmente, a baixa disponibilidade de nutrientes em saúveiros da parcela queimada seja em decorrência da maior assimilação das plantas durante o processo de regeneração pós-fogo. Ao que parece, os saúveiros são importantes sítios de exploração de nutrientes pela vegetação de cerrado, além de favorecer a sua recuperação, mesmo sob o efeito de sucessivas queimadas. O papel ecológico das saúvas pode não estar limitado apenas à ciclagem de nutrientes. Diversas atividades das saúvas podem convergir para o seqüestro de carbono, seja por via direta ou indireta. O papel das saúvas na ciclagem de nutrientes e no seqüestro de carbono mostra que sua presença pode ser fundamental para os ecossistemas Neotropicais.

ABSTRACT

SOUTO, Leandro de Sousa. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2007. **Ecological role of fire and leaf-cutting ants (*Atta* spp.) on nutrient and carbon cycling in cerrado.** Advisor: José Henrique Schoereder. Committee members: Carlos Ernesto Goncalves Reynaud Schaefer and Eraldo Rodrigues de Lima.

In dystrophic environments, as savannas, nutrient cycling is of fundamental importance for maintenance, regulation and development of those habitats. Some factors as seasonal burning and herbivory are considered important in the cycling process, because these factors remove a great amount of biomass, leading to an unbalance between losses and inputs of the system. In this work the effect of a possible antagonistic role of burning and leaf-cutting ants in the nutrient cycling in cerrado was tested. To test this hypothesis, we evaluated the effect of fire and ant nests on the concentration of soil nutrients, root density and nutritional status of herbs and woody plants in both burned and unburned plots of cerrado. We found that fire did not affect nutrient concentration, root density and foliar nutrient contents of woody plants, in comparison with control soil. Fire increased foliar contents of the herb species. Fire did also reduce concentrations of soil macronutrients in ant nests. In contrast, *Atta laevigata* nests increased foliar nutrient content of surrounding herbs and woody plants and increased up to 60% root density in both plots. In the unburned plot ant nests also increased the nutrient stocks principally at intermediate depths (subsoil). The low concentration of nutrients in ant nests from burned plot could be due to the high nutrient assimilation during post-fire recover. The antagonistic role of *Atta* nests and fire on nutrient cycling was not confirmed. Although frequent burning resulted in some significant increase in the nutrient content of herbs, it also resulted in some significant losses. On the other hand, ant nests may represent an important source of nutrients for plants on the nutrient-depleted cerrado soils, and may accelerate vegetation recovery after burning. Leaf-cutting ants play an important role in biogeochemical cycling in the cerrado ecosystem through concentrating nutrients in the subsoil and affecting nutrient content of surrounding plants. Due to the activity of ants, their nests might be an important biological sink of carbon, acting in the carbon sequestration of Neotropical forests and savannas.

INTRODUÇÃO GERAL

O bioma Cerrado está localizado predominantemente no Planalto Central do Brasil e ocupa uma área superior a 1.800.000 km², representando o segundo maior bioma no País em área, sendo ultrapassado apenas pela Floresta Amazônica (Coutinho 1978). Constituído de aproximadamente onze tipos de fitofisionomias, o bioma Cerrado é hoje considerado um “hot-spot” (Myers *et al.* 2000), ou seja, um bioma com alta diversidade biológica que, provavelmente, está sob forte pressão antrópica. Em relação à fitofisionomia denominada cerrado *sensu stricto*, vários fatores afetam a cobertura vegetal e densidade arbórea, entre eles fertilidade e profundidade do solo (Araújo & Haridasan 1989, Haridasan 1992), pH e saturação de alumínio (Goodland & Ferri 1979).

Em ambientes distróficos, ou seja, sob solos altamente intemperizados ou pobres em diversos minerais, como as áreas de cerrado, a ciclagem de nutrientes é de fundamental importância para a manutenção, regulação e desenvolvimento desses habitats (Batmanian & Haridasan 1985). De maneira geral, a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas pode ser descrita da seguinte forma: (i) entradas e saídas do sistema - Por exemplo, os nutrientes chegam através das chuvas, partículas de poeira e cinzas, fixação biológica e intemperização das rochas e podem sair por meio da lixiviação para o subsolo ou pela volatilização para a atmosfera, (ii) transferência de nutrientes entre a planta e o solo (ciclo biogeoquímico), incluindo o consumo pelas plantas e o seu retorno para o solo, via serapilheira, lixiviação ou decomposição de raízes e tecidos mortos, e (iii) redistribuição interna de nutrientes móveis através do floema (ciclo bioquímico) (Attiwill & Adams 1993).

A ciclagem de nutrientes é um processo variável, que depende de uma série de fatores ambientais, como o clima, heterogeneidade do habitat, composição e sucessão de espécies, além da fertilidade do solo. Queimadas sazonais e a herbivoria também são fatores considerados importantes nesse processo, pois retiram grande quantidade de biomassa, podendo causar desequilíbrio entre as perdas e ganhos do sistema. Entretanto, o fogo e a herbivoria, atuando em conjunto, podem formar um modelo de ciclagem que beneficie a vegetação como um todo. Para que isto ocorra, basta que as perdas provocadas por um sejam repostas pelo outro, de modo que o sistema alcance seu equilíbrio.

Coutinho (1984) formulou a hipótese de que o fogo e as saúvas teriam um papel antagônico na ciclagem de nutrientes (Fig. 1). Segundo Coutinho (1984), o fogo atinge todos os tipos de vegetação existentes no ambiente, sejam herbáceos ou arbóreos.

Uma vez que o fogo atua nas camadas mais superficiais do solo, os nutrientes contidos nas cinzas remanescentes são absorvidos em maior quantidade pelas raízes da vegetação herbácea, que possuem menor comprimento vertical e maior amplitude horizontal, acelerando seu processo de recuperação. A vegetação arbórea, por sua vez, possui sistema radicular profundo, geralmente acima de 6m de profundidade. Para esse tipo de vegetação, o fogo poderia causar desequilíbrio no nível de nutrientes, já que consome biomassa da parte superior das árvores e devolve parte dos compostos minerais apenas para camadas onde a absorção não será eficiente. Desta forma, Coutinho (1984) sugeriu que os efeitos do fogo seriam maiores sobre a vegetação arbórea, uma vez que as cinzas remanescentes, com alto teor de nutrientes, seriam depositadas apenas na superfície do solo, beneficiando a recuperação da vegetação herbácea que possui sistema radicular superficial. Por outro lado, as saúvas (*Atta spp.*)

poderiam beneficiar as espécies arbóreo-arbustivas, por meio da deposição de material vegetal no interior das câmaras de fungo e lixo das colônias (Weber 1972).

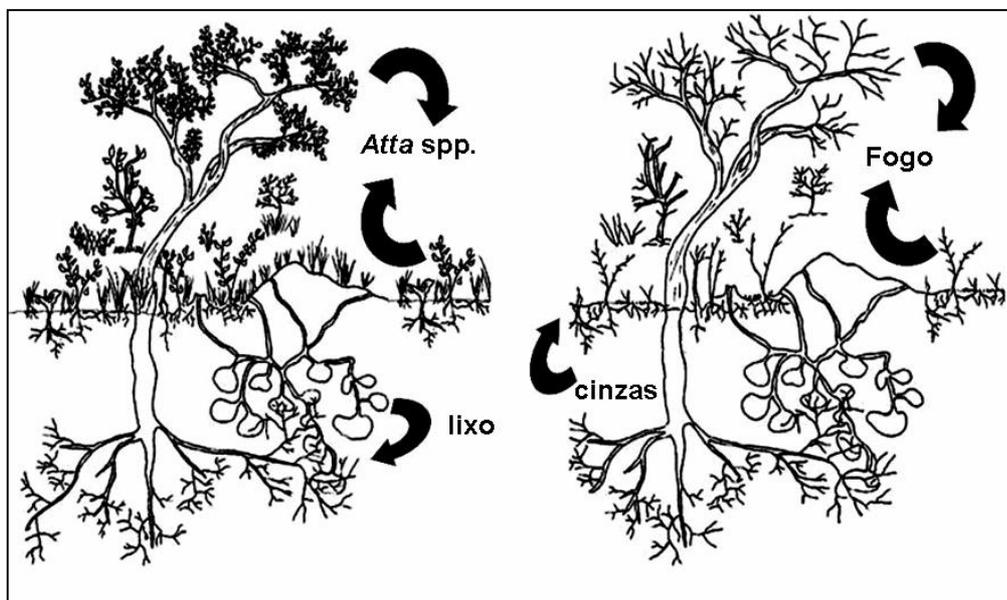


Fig. 1 - Possível efeito antagônico do fogo e das saúvas na ciclagem de nutrientes, proposta por Coutinho (1984). As setas indicam a direção do fluxo de nutrientes no ciclo.

Ainda de acordo com Coutinho (1984), as raízes das plantas lenhosas poderiam entrar em contato com esse material e assimilar os nutrientes disponíveis. Assim, tanto a vegetação herbácea quanto a arbóreo-arbustiva seriam beneficiadas, de forma distinta, pelo fogo e pela herbivoria das saúvas. Entretanto, a hipótese do antagonismo, proposta por Coutinho, jamais foi testada experimentalmente.

Caso essa hipótese estivesse certa, tanto o solo superficial como as folhas de plantas herbáceas em uma área submetida à queimadas teriam maiores concentrações de nutrientes quando comparados com uma área sem queima. Da mesma forma, amostras do subsolo de saúveiros e de folhas de plantas lenhosas próximas aos saúveiros deveriam ter maiores concentrações de nutrientes do que tais amostras oriundas de uma área controle.

Este trabalho teve como objetivo testar a hipótese de Coutinho, sobre a existência do efeito antagônico do fogo e das saúvas na ciclagem de nutrientes, em área de cerrado.

No primeiro capítulo é feita uma abordagem sobre o papel do fogo e das saúvas nas propriedades químicas do solo. No capítulo seguinte, foram feitas amostragens para se determinar o efeito das saúvas e do fogo sobre o status nutricional de duas espécies vegetais nativas do cerrado. Assim, esses dois capítulos enfocam a influência dos ninhos e do fogo sobre o solo e sobre a vegetação adjacente.

O manuscrito, com os resultados do primeiro capítulo, foi submetido à revista *Journal of Tropical Ecology*, sendo aceito para publicação em janeiro de 2007. Os dados do segundo capítulo foram aceitos na revista *Austral Ecology*, com previsão de publicação em 2007.

O terceiro capítulo aborda exclusivamente o lixo produzido pelas saúvas. Suas propriedades químicas foram analisadas e comparadas com o substrato consumido pelas colônias. Parte desses dados já está publicada na *Revista Árvore*, v.31, p.163-166, 2007.

O quarto capítulo é uma revisão de literatura, abordando dados já publicados sobre a importância das saúvas para o ecossistema Neotropical e, com base nos resultados aqui obtidos, é proposta a hipótese de que as saúvas atuam no seqüestro de carbono. Valores estimados desse possível seqüestro são apresentados. Uma versão resumida deste trabalho está em fase de publicação, no livro "Insetos sociais – da teoria à aplicação", editora UFV, previsto para 2007.

REFERÊNCIAS:

- Araújo, G.M. & Haridasan, M.A. 1989. A comparison of the nutritional status of two Forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in Central Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19: 1075-1089.
- Attiwill, P.M., Adams, M.A. 1993. Tansley Review no. 50: Nutrient cycling in forests. *New Phytologist*, 124: 561-582.
- Batmaniam, 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.
- Coutinho, L. M. 1984. Aspectos ecológicos da saúva no cerrado. A saúva, as queimadas e sua possível relação na ciclagem de nutrientes minerais. *Boletim de Zoologia da Universidade de São Paulo*, 8: 1-9.
- Coutinho, L. M. 1978. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 1: 17-23.
- Goodland, R.A & Ferri, M.G. 1979. *Ecologia do cerrado*. Itatiaia, LTD.
- Haridasan, M.A. 1992. Observation on soil, foliar nutrients concentrations and floristic composition of cerrado "sensu stricto" and "cerradão" communities in central Brazil. In: Furley PA, Proctor J, Ratter JA, eds., *Nature and dynamics of forest-savanna boundaries*. London Chapman & Hall, pp. 171-184.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. and Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- Weber, N.A. 1972. Gardening ants: the Attines. *Memoirs American Philosophical Society*, 90: 1-146.

Capítulo I

SAÚVAS, QUEIMADAS E OS NUTRIENTES DO SOLO.

RESUMO - O fogo e as saúvas atuam de maneira antagônica na concentração de nutrientes do solo em área de cerrado? Com o objetivo de responder a essa pergunta, foram coletadas amostras de solo, em diferentes profundidades, numa área submetida a queimadas periódicas e em outra área protegida do fogo há 27 anos. As amostras de solo foram coletadas em saúveiros e em áreas livres da influência das colônias e seu teor de nutrientes foi analisado. O fogo não alterou o teor de nutrientes do solo, comparado com a área protegida. Na ausência de queimadas, as concentrações de nutrientes nos saúveiros foram maiores em profundidades acima de 40 cm. Entretanto, na presença de queimadas houve drástica redução nas concentrações de nutrientes, pH e matéria orgânica nas amostras de solo das colônias, quando comparadas com as áreas sem formigueiros. Dessa forma, o fogo atuou negativamente sobre a concentração de nutrientes no solo de saúveiros na área de cerrado estudada. Possivelmente, a baixa concentração de nutrientes nas amostras de solo dos saúveiros submetidos ao fogo seja atribuída à maior demanda pela vegetação durante o processo de regeneração pós-fogo. É possível também que o fogo tenha afetado o forrageamento das colônias, prejudicando assim a acumulação de matéria orgânica e a conseqüente disponibilidade de nutrientes no solo.

1.1 INTRODUÇÃO

Em ambientes distróficos a ciclagem de nutrientes é fundamental para a manutenção da fisionomia e estrutura dessas áreas. A ciclagem de nutrientes é variável, dependendo de fatores locais e regionais como clima, composição e sucessão de espécies, além da fertilidade natural do solo (Attiwill & Adams 1993). Queimadas sazonais e a intensidade de herbivoria podem também ocasionar mudanças na estrutura de vários ecossistemas tropicais, como cerrado e savanas, podendo alterar a ciclagem de nutrientes desses habitats (Batmanian & Haridasan 1985, Van de Vijver *et al.* 1999, Radho-Toly *et al.* 2001).

No cerrado, o fogo é um agente de perturbação muito comum, ocorrendo numa mesma área a cada três ou cinco anos (Eiten 1972, Coutinho 1978). Durante as queimadas, parte dos nutrientes perdidos pela biomassa é transferida para a atmosfera por meio da volatilização de particulados. Os nutrientes restantes permanecem depositados na superfície do solo, na forma de cinzas (Coutinho 1992). Devido a alta concentração de nutrientes nos tecidos vegetais das plantas jovens, que rebrotam após a passagem do fogo, a herbivoria é bem acentuada em áreas recém queimadas (Van de Vijver *et al.* 1999, Radho-Toly *et al.* 2001). Assim, num primeiro momento, o fogo pode, indiretamente, criar um forte efeito topo-base (top-down) dos insetos herbívoros sobre a ciclagem de nutrientes nessas áreas.

Formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* são tradicionalmente vistas como importantes herbívoros (Cherrett 1989, Araújo *et al.* 1997). Essas espécies cortam preferencialmente fragmentos de folhas que são utilizados como substrato para o fungo simbiote, cultivado em câmaras subterrâneas, a vários metros de

profundidade (Weber 1972, Coutinho 1984). As saúvas podem cortar o equivalente a 12-17% de toda a produção de folhas de uma floresta tropical (Cherrett 1989). Isso ocorre, em parte, porque o fungo simbiote não é capaz de degradar lignina e celulose - principais constituintes dos tecidos vegetais, fazendo com que apenas pequena fração de toda a biomassa vegetal transportada para os ninhos seja, de fato, aproveitada (Abril & Bucher 2002, 2004). O material não consumido pelo fungo é então depositado em câmaras de descarte, as câmaras de lixo, onde ocorrerá a mineralização da matéria orgânica e liberação de nutrientes para a solução do solo (Coutinho 1984, Farji-Brener & Illes 2000).

Diversos estudos têm demonstrado o efeito isolado do fogo (Kauffman *et al.* 1994, Moreira 2000, Van de Vijver *et al.* 1999) ou das saúvas (Farji-Brener & Illes 2000, Jonkman 1978) na modificação das propriedades do solo e da vegetação. Entretanto, nenhum estudo testou experimentalmente o efeito simultâneo desses dois agentes de perturbação na ciclagem de nutrientes. Coutinho (1984) sugeriu que fatores de distúrbio como o fogo e a herbivoria das diversas espécies de saúvas teriam impacto negativo em ambos os estratos vegetais, ou seja, arbóreo-arbustivo e herbáceo. Entretanto, segundo esse autor, as cinzas remanescentes das queimadas e depositadas na superfície do solo, poderiam favorecer a recuperação mais rápida da vegetação com sistema radicular superficial, como a vegetação herbácea. Da mesma forma, a matéria orgânica acumulada nos saúveiros poderiam atuar como sítios de assimilação de nutrientes, beneficiando os estratos com sistema radicular profundo, como o arbóreo-arbustivo, reduzindo os impactos negativos da herbivoria. Assim, de acordo com Coutinho (1984), haveria um efeito antagônico do fogo e das saúvas na ciclagem de nutrientes.

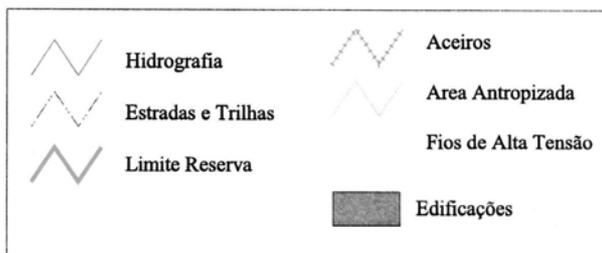
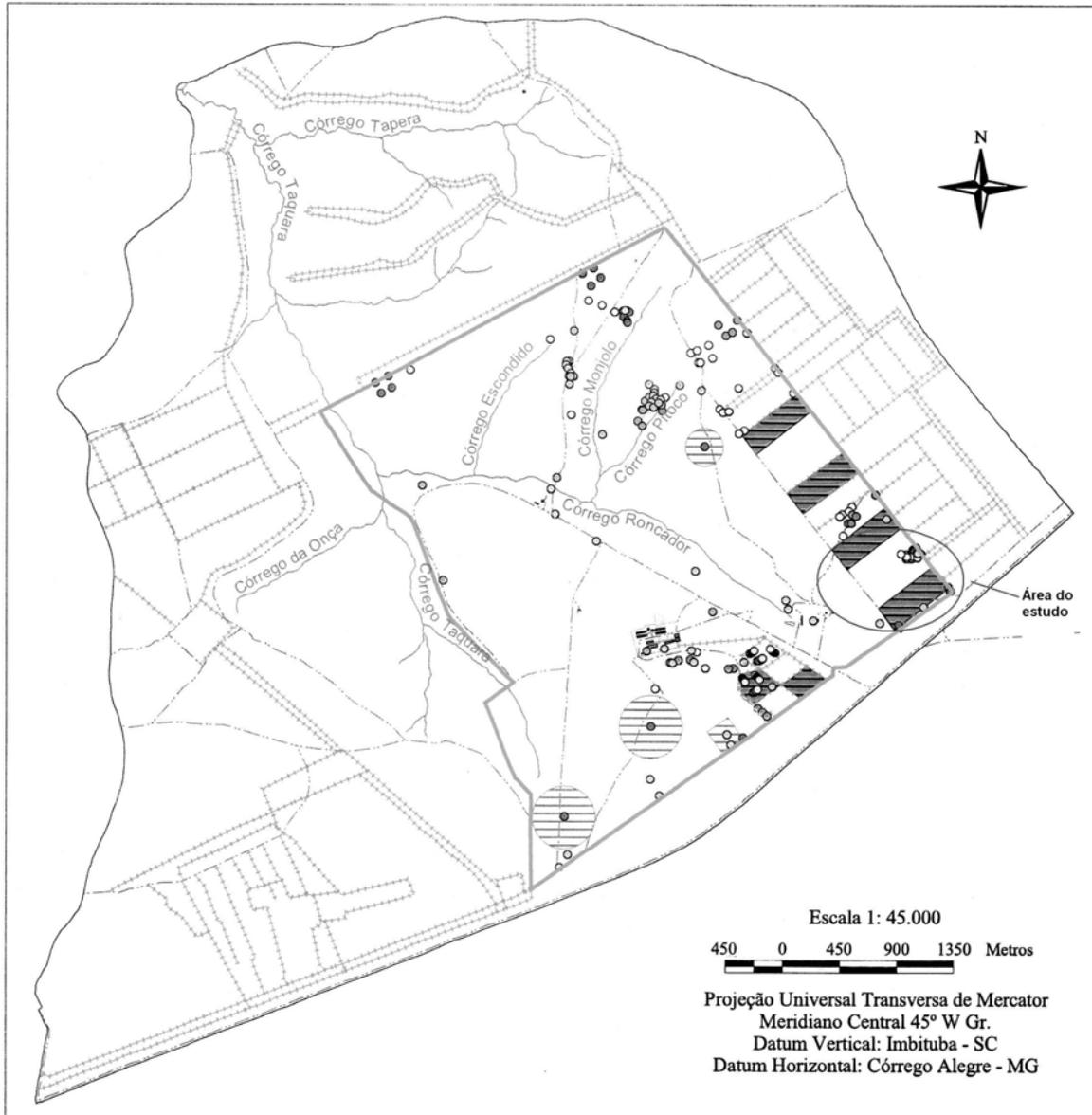
Neste trabalho foi testada, por meio de experimentos de campo, a hipótese de Coutinho (1984). Existe de fato o efeito antagônico do fogo e das saúvas sobre a concentração de nutrientes no solo?

1.2 MÉTODOS

1.2.1 Área de estudo:

O estudo foi conduzido na Reserva Ecológica do IBGE (RECOR) em Brasília - DF(15° 51' 41" S, 47° 51' 02" W) (Fig. 02). A RECOR tem uma área total de 1.375 hectares, e uma precipitação pluviométrica anual de 1.478 mm, com uma estação seca bem definida nos meses de maio a setembro e temperatura média anual de 21 °C (12 - 29.3°C). A vegetação nativa compreende as diferentes fitofisionomias de cerrado existentes: cerradão (70 -90% de cobertura vegetal arbórea), cerrado denso (50-70% de cobertura arbórea), cerrado sentido *strictu* (20-50% de cobertura arbórea), campo sujo (> 5% de cobertura arbórea) e campo limpo (pastagem nativa) (Ribeiro & Walter 1998). O tipo de solo dominante é o latossolo vermelho, profundo e bem drenado, com alto teor de argila (caulinita) e baixa capacidade de troca catiônica (CTC) com acidez moderada (pH 4,5 - 6,2) (EMBRAPA 1999). Em toda a extensão da reserva, a incidência de saúvas de *Atta laevigata* é bastante comum, abrangendo área total de até 128 m² em alguns locais.

**Reserva Ecológica do IBGE
- Localização de Projetos de Pesquisa -**



NOTA

Base cartográfica elaborada pelo DECAR / DIMAP - Serviço de Fotogrametria do IBGE, a partir de restituição fotogramétrica de fotos aéreas escala 1: 8.000 tomadas em 1991.
Atualização elaborada pela Divisão de Geociências do Centro-Oeste.
Compilação executada pela Greentec Tecnologia Ambiental.

Fig. 02 - Mapa da reserva ecológica do IBGE (RECOR). Em destaque (círculo) é mostrada a área onde as amostragens foram feitas.

1.2.2 Desenho Experimental

O efeito antagônico do fogo e das saúvas foi testado em duas parcelas de cerrado denso de 200 x 500m (10 ha), sendo uma parcela submetida a queimadas bianuais desde 1992 (sete no total, sendo a última, 30 dias antes deste experimento) e a outra parcela sendo protegida das queimadas há 27 anos. As parcelas foram amostradas no período de março-abril de 2004 para a identificação de colônias adultas de *A. laevigata* (> 4 m²) e determinação da densidade de colônias, por meio de três transectos (200m) dispostos nas duas maiores margens e uma no centro de cada parcela.

Em cada parcela foram escolhidas as três maiores colônias de *A. laevigata* e, a partir de cada colônia, foi determinado um ponto de, no mínimo, 25 m distante dos saúveiros, utilizado como área controle, isto é, sem a influência de colônias. Em cada ponto escolhido (saúveiros e controles) um poço de observação foi escavado (1 x 1 x 2m), de onde foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0-5, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200 e 350 cm. A amostra na profundidade de 350cm foi obtida por meio de um trado, alcançando 1,5m a partir do fundo do poço de observação (Fig. 03).



Fig. 03 - Vista geral das áreas queimada em julho/2004 (a) e não-queimada (b), Escavação dos poços nas parcelas (c e d) e sobre os saueiros (e).

No total foram obtidas de cada profundidade, três amostras de solo de formigueiros localizados na parcela queimada, três amostras de solo em áreas sem a influência dos formigueiros nesta mesma parcela, três amostras de formigueiros na área protegida do fogo e três amostras controle, nessa mesma parcela.

As amostras de solo foram secadas ao ar por 48 horas e as concentrações de macronutrientes (P, K, Ca e Mg) foram determinadas. Além dos macronutrientes, foram determinados os valores de pH, Al, Fe, matéria orgânica (MO) e CTC, além do P remanescente na solução (Silva 1999). As concentrações de Ca, Mg, Al e Fe foram determinadas com extrator KCl (1 mol/L de solução), P e K foram determinados com pelo método Mehlich e a matéria orgânica foi obtida pelo método de Walkley-Black. O pH foi obtido a partir de solução aquosa 1: 2,5. A CTC foi medida com acetato de amônia (5g de solo em pH 7,0). A análise da CTC é justificada, pois, quanto maior o valor da CTC, maior seria a fertilidade do solo (Silva 1999). Todas as análises foram realizadas no laboratório de rotina de solos, do Departamento de Solos/UFV, e os métodos seguiram os procedimentos adotados por EMBRAPA (1997). As concentrações de Al, Fe e P remanescente foram determinadas porque esses íons formam complexos organo-minerais muito estáveis em solos com alta concentração de matéria orgânica ou argila (Boudot *et al.* 1989, Andrade *et al.* 2003, Guppy *et al.* 2005). Assim, caso os formigueiros apresentassem concentração de matéria orgânica mais alta do que o encontrado nas áreas sem a influência das colônias, também seriam esperados maiores valores desses outros elementos nas amostras.

1.2.3 Análises Estatísticas

Para testar o efeito da presença do fogo e/ou saueiros nas propriedades químicas do solo foi utilizado um modelo linear com efeitos mistos (lme) usando ANOVA (Crawley 2002), onde a presença de saueiros, profundidade do solo e o efeito do fogo foram considerados como variáveis explicativas. Modelos quadráticos foram incluídos como variável explicativa, quando necessário. Cada poço de observação foi considerado uma amostra independente (n=12). Variáveis não significantes e suas possíveis interações foram excluídas do modelo completo.

1.3 RESULTADOS

A densidade de saueiros foi relativamente baixa nas duas parcelas estudadas (0,9 saueiros/ha na parcela queimada e 0,6/ha na parcela protegida), quando comparada com outros estudos (Araújo *et. al* 1997, Moutinho *et al.* 2003) mas a área total de abrangência das colônias foi considerável (1,3 e 1,1%, respectivamente). Não houve diferença significativa entre o tamanho das colônias localizadas nas duas parcelas. O tamanho médio das colônias na parcela protegida e na parcela queimada variou de 64 ± 13 e 56 ± 23 m², respectivamente. A análise das amostras permitiu concluir que, na ausência dos saueiros, as concentrações de macronutrientes do solo dos poços controle, das duas parcelas, não foi alterada pela presença do fogo. Ao contrário do esperado, o fogo não exerceu influência alguma no teor de nutrientes da superfície do solo (0-5 cm) quando comparado isoladamente, muito menos nas demais profundidades (Figs. 04 e 05). Comparado à área não queimada, os teores de Ca, Mg, P e K não diferiram significativamente ($p > 0,05$). Para alguns nutrientes, como Ca e P, os valores presentes na maioria das amostras ficaram abaixo do limite de detecção dos métodos de análise, indicando a baixa fertilidade natural do solo estudado.

O efeito dos saueiros nas propriedades químicas do solo na área protegida do fogo foi, no entanto, significativo. Houve aumento nas concentrações de Ca ($F_{3,126} = 27,86$, $p < 0,001$) Mg ($F_{3,126} = 24,21$, $p < 0,001$), P ($F_{3,126} = 26,47$, $p < 0,001$) e K ($F_{3,126} = 21,25$, $p < 0,001$, Figs. 04 e 05). Para o Ca o modelo quadrático não foi significativo; a concentração aumentou linearmente com a profundidade (Fig. 04). Também foram maiores as concentrações de pH ($F_{3,126} = 53,12$, $p < 0,001$) e matéria orgânica ($F_{3,126} = 14,6$, $p < 0,001$), além da CTC ($F_{3,126} = 21,05$, $p < 0,001$). No caso desses três últimos, o modelo quadrático foi significativo, indicando variação nos valores ao longo da profundidade (Fig. 06). As interações *tratamento* × *profundidade*; *tratamento* × *parcela* e

tratamento × *profundidade* × *parcela* foram significativas para todos os elementos analisados ($p < 0.01$).

Com exceção do K, amostras de solo provenientes dos formigueiros da parcela queimada apresentaram teores dos nutrientes Ca, Mg e P comparáveis ao solo controle. Em outras palavras, a presença do fogo se contrapôs ao eventual efeito positivo dos ninhos nas propriedades químicas do solo (Figs. 04 e 05).

A presença do fogo também reduziu o pH do solo nos saueiros ($F_{3,126} = 60,95$, $p < 0,001$), mas manteve elevada a concentração de matéria orgânica dentro dos ninhos entre as profundidades de 40 a 120 cm ($F_{3,126} = 6,3$, $p < 0,05$) (Fig. 06). Entretanto, mesmo tendo sido significativa, essa redução do pH das amostras ficou dentro dos limites para o solo em questão (EMBRAPA 1997).

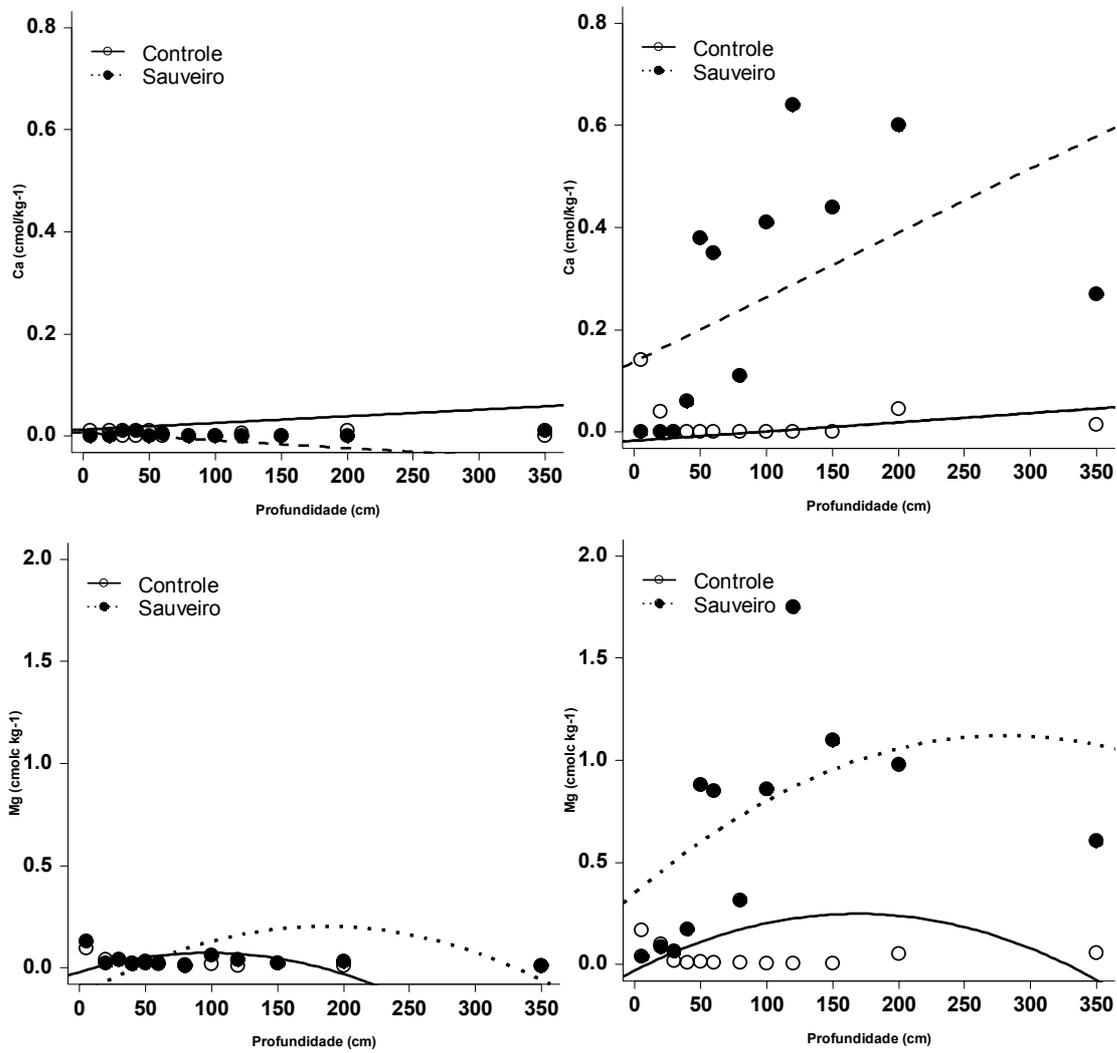


Fig. 04 - Variação (média ± EP) na concentração de Ca e Mg em diferentes profundidades, em áreas controle (pontos brancos) ou de sauveiros (pontos pretos), localizados em parcela queimada (esquerda) ou protegida do fogo (direita) (n=3).

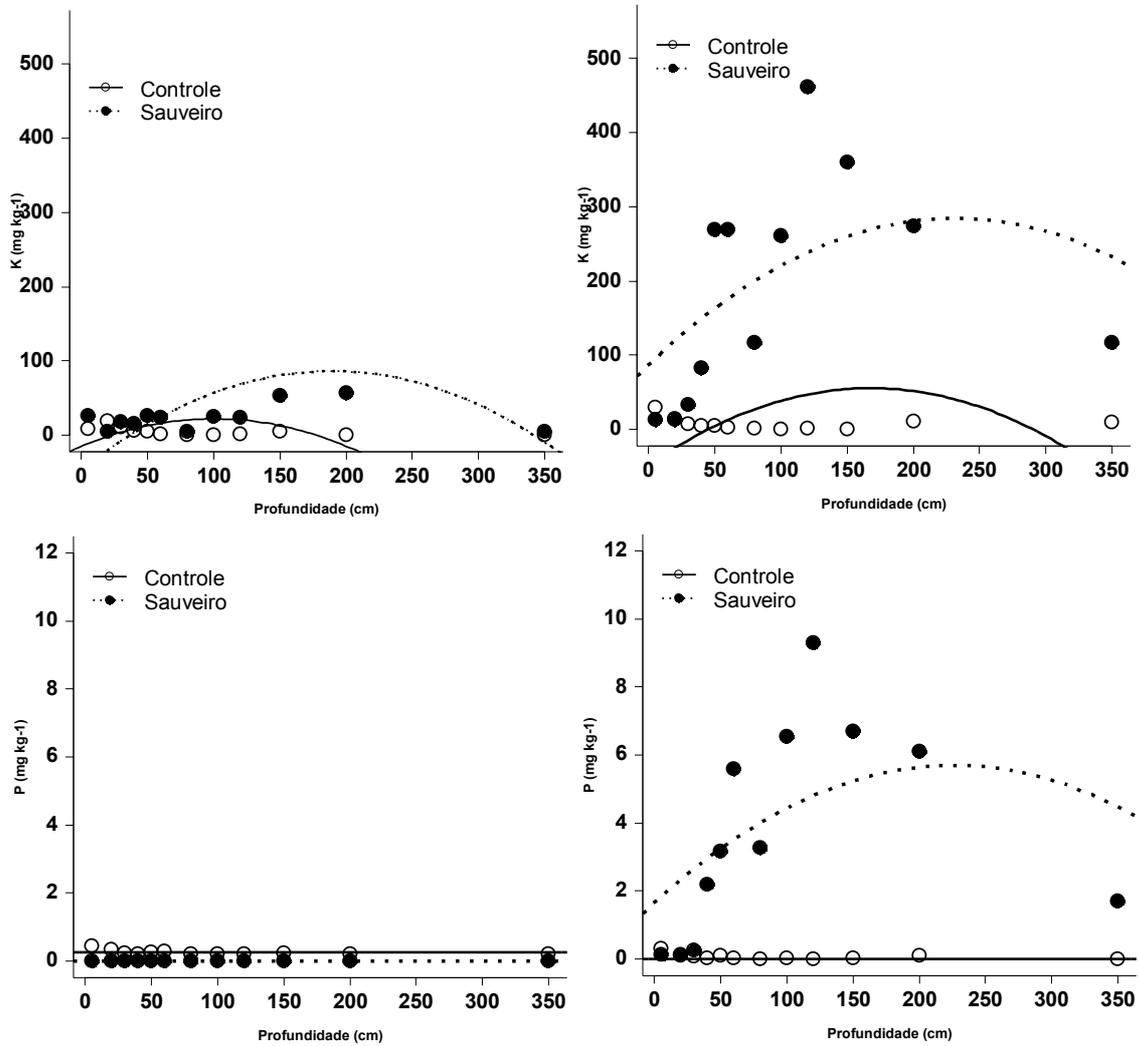


Fig. 05 - Variação (média \pm EP) na concentração de K e P em diferentes profundidades, em áreas controle (pontos brancos) ou de sauveiros (pontos pretos), localizados em parcela queimada (esquerda) ou protegida do fogo (direita) (n=3).

Nas profundidades onde a matéria orgânica foi significativamente maior, os valores da CTC nesses saueiros também foram elevados ($F_{3,126} = 2,97$, $p > 0,05$) (Fig. 06), ficando, porém, bem abaixo dos valores encontrados nos ninhos da parcela protegida.

Não houve diferença significativa nos teores de Al em todas as amostras estudadas ($F_{3,126} = 0,56$, $p > 0,05$). Em contrapartida, amostras dos saueiros (de ambas as parcelas) apresentaram teores de Fe, em algumas profundidades, maiores quando comparadas com amostras dos respectivos controles ($F_{3,126} = 25,75$, $p < 0,001$). O mesmo ocorreu para as amostras de P remanescente ($F_{3,126} = 6,95$, $p < 0,05$). Em ambos os casos, o modelo quadrático foi significativo, indicando variação dos valores com a profundidade, sendo, nesses casos, maiores nas profundidades intermediárias (40-200 cm) (Fig. 07).

Em resumo, o efeito antagônico do fogo e das saúvas no teor de nutrientes do solo, como proposto por Coutinho (1984), na área de cerrado estudada não foi confirmado. Apesar de elevada concentração de nutrientes nos saueiros, prevista por Coutinho (1984), o resultado esperado para a área queimada não foi observado. O efeito antagônico encontrado neste estudo foi o aumento da concentração de nutrientes pelos saueiros e a diminuição destes pelo fogo.

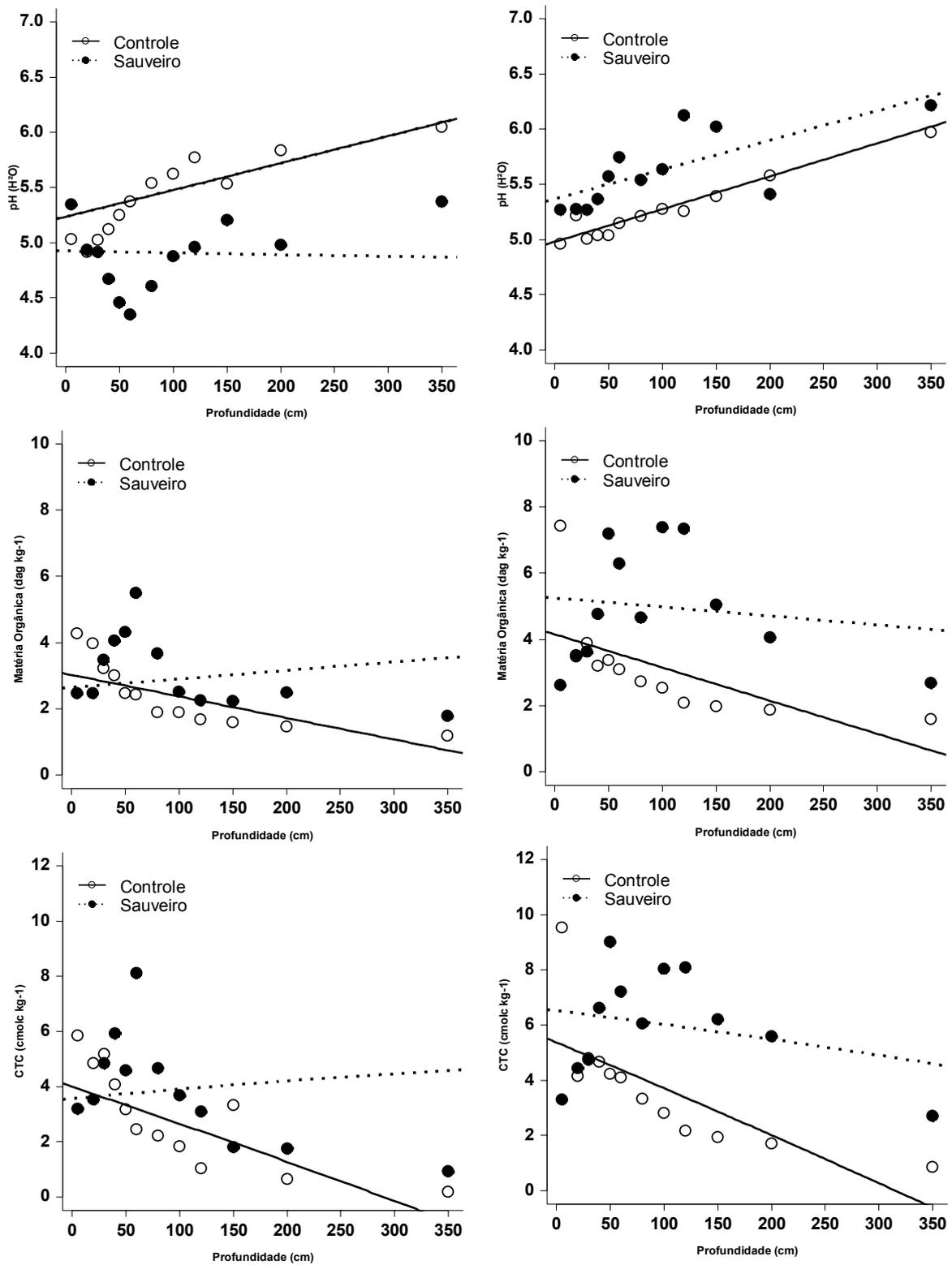


Fig. 06 - Variação dos valores de pH, matéria orgânica (MO) e CTC em diferentes profundidades, em áreas controle (pontos brancos) ou de sauveiros (pontos pretos), localizados em parcela queimada (esquerda) ou protegida do fogo (direita) (n=3).

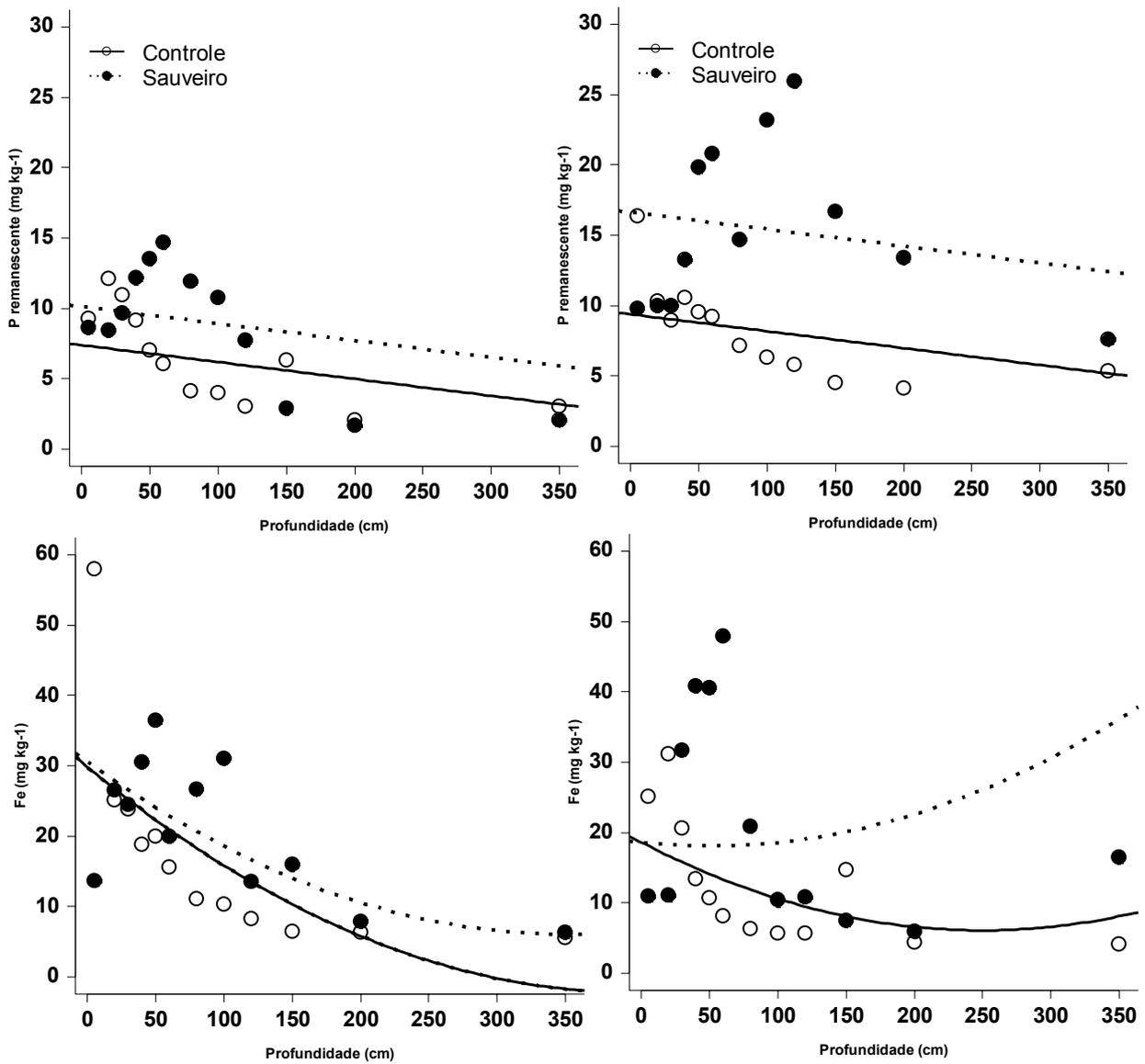


Fig. 07 - Variação das concentrações de fósforo remanescente e ferro em diferentes profundidades, em áreas controle ou de saueiros, localizados em parcela queimada ou protegida do fogo (n=3).

1.4 DISCUSSÃO

Queimadas sazonais e formigas cortadeiras exercem um papel distinto na ciclagem de nutrientes na área de cerrado estudada, porém, esse papel não é antagônico. A possível deposição de cinzas oriundas das queimadas na área estudada não foi suficiente para alterar as propriedades químicas na região da superfície do solo (0-20 cm), uma vez que os teores permaneceram inalterados trinta dias após a queimada experimental. Em contrapartida, os saueiros presentes nas duas parcelas exerceram papel importante na introdução de matéria orgânica nos perfis mais profundos do solo, possivelmente beneficiando a vegetação adjacente. É importante lembrar que as concentrações de matéria orgânica encontradas são exclusivamente de amostras do solo e não foram retiradas diretamente das câmaras de lixo ou fungo. Isso significa que a matéria orgânica incorporada aos ninhos não permanece limitada às câmaras subterrâneas e sim estão em constante processo de mobilidade dentro dos limites da colônia, devido ao constante processo de bioturbação do solo pelas operárias.

Maior concentração de nutrientes nos saueiros da parcela protegida pode explicar como os formigueiros exercem um importante papel no estabelecimento e permanência de espécies vegetais pioneiras em diversos habitats neotropicais (Farji-Brener & Illes 2000). Concentrações mais altas de Ca, Mg e matéria orgânica nos ninhos do que em áreas sem a influencia de colônias já haviam sido reportadas em solos superficiais (0-20 cm) de *Atta laevigata* em área de savana venezuelana (Farji-Brener & Silva 1995) e em solos oriundos de colônias de *A. colombica* em floresta tropical úmida do Panamá (Haines 1978). Moutinho *et al.* (2003) também encontraram maiores concentrações de vários macronutrientes em diferentes profundidades num

perfil de saúveiros (0-300 cm) na região amazônica. Nesse último estudo, a densidade e a biomassa de raízes também foi maior dentro dos ninhos.

Uma pergunta, porém, permanece ainda sem resposta: apesar do significativo acúmulo de matéria orgânica, por que os teores de nutrientes não foram significativos nas colônias da parcela queimada? Três hipóteses, não mutuamente excludentes, podem explicar tal fenômeno: (1) baixa atividade forrageadora das colônias, (2) assimilação de nutrientes pela vegetação remanescente e (3) indisponibilidade físico-química de nutrientes.

No primeiro caso, é provável que o histórico de queimadas na parcela citada tenha alterado, com o passar dos anos, a atividade forrageadora das colônias e, conseqüentemente, provocado drástica redução da população desses ninhos. Um recente estudo demonstrou que, de fato, o fogo é um importante agente de distúrbio para o forrageamento das saúvas (Araújo *et al.* 2004). Entretanto, durante as escavações, apesar de ter sido observado menor atividade de formigas nas colônias da parcela queimada, não foram coletados dados a esse respeito. De certa forma, essa hipótese é bastante plausível tendo em vista que o fogo atua diretamente na redução da diversidade de espécies vegetais no cerrado (Sato & Miranda 1996, Moreira 2000), reduzindo também a amplitude de espécies cortadas por saúvas e afetando seu padrão de forrageamento com conseqüente redução do desenvolvimento dos ninhos (Araújo *et al.* 2004).

A segunda hipótese se baseia no fato de ter havido rápida assimilação de nutrientes nesses ninhos pela vegetação adjacente, em resposta a rápida recuperação da vegetação após a passagem do fogo. Dessa forma, os teores de nutrientes nas colônias das duas parcelas podem ter sido similares num passado recente, porém, a alta demanda por parte da vegetação da área perturbada pode ter desequilibrado esses

valores. Essa hipótese foi sugerida pelo Dr. Paulo Moutinho (comunicação pessoal) e pode estar associada com as outras hipóteses.

A terceira hipótese indica que os nutrientes presentes no solo dos formigueiros da parcela queimada ficaram indisponíveis por algum motivo e não foram detectados nas análises de solo - que seguem o padrão de rotina. Essa hipótese, que foi a única testada, e que pode estar mutuamente relacionada com as duas anteriores, é reforçada quando comparamos os valores de P-remanescente e Fe encontrados nas amostras de solo.

Grande parte dos solos brasileiros são intemperizados e apresentam óxidos de ferro e alumínio e argilas do grupo da caulinita como principais constituintes da fração argila, minerais caracterizados pela presença de cargas de superfície variáveis segundo a reação da solução do solo (Volkswiss & Raij 1977). Num cenário de alta acidez do solo, os óxidos de Fe e Al apresentam cargas positivas, sendo assim capazes de reter vários tipos de ânions, principalmente íons fosfato. Observando a figura 4 podemos notar que os valores de Fe e P remanescente foram altos dentro dos saueiros, principalmente nas profundidades intermediárias. Esse fato pode ser um forte indício de que, de fato, houve maior concentração de nutrientes nesse local e a fração de nutrientes que permaneceu nas colônias foi aquela indisponibilizada por ligações covalentes. O Fe mais alto nas profundidades de 40 a 120 cm nos ninhos sugere que Fe e Al formaram complexos organo-metálicos complexos com o C que também foi abundante nessas profundidades. Esses complexos levam a menor disponibilidade de C para micro-organismos (Wolters 2000).

A maior acidez das amostras dos saueiros da área queimada também indica que, além da adsorção de P e Fe, a matéria orgânica oriunda desses ninhos pode estar imobilizada. Recentes estudos demonstraram que o fungo simbiote cultivado pelas

saúvas não degrada celulose ou lignina (Abril & Bucher 2002, 2004). Elevadas concentrações de lignina e celulose conduzem a uma alta razão C/N, a qual inibe a decomposição da matéria orgânica por meio da ação de microrganismos (Norby *et al.* 1992, Seneviratne 2000). Assim, a matéria orgânica com proporção elevada de carbono recalcitrante, como lignina e celulose (Hungate *et al.* 1997), acaba sendo imobilizada por meio de interações com as partículas minerais da fração argila do solo, como ocorre com o fosfato. A maior acidez encontrada nos ninhos, portanto, indica condição mais desfavorável para a decomposição da MO e a mineralização dos nutrientes. Cabe ressaltar, entretanto, que os valores de pH das amostras das colônias da parcela queimada, apesar de diferirem significativamente dos ninhos da parcela protegida, ainda estão dentro dos limites encontrados em latossolos da região central do Brasil.

Apesar de o fogo ter sido considerado um importante agente na ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado em alguns estudos (Coutinho 1978, Batmanian & Haridasan 1985, Crutzen & Andreae 1990), é cada vez mais evidente que seus efeitos negativos sobre a biomassa vegetal, com conseqüente perda de nutrientes para a atmosfera, supera sobremaneira qualquer possível efeito benéfico da deposição das cinzas remanescentes (Cook 1994, Van de Vijver *et al.* 1999). Cook (1994) relatou que o efeito fertilizante das cinzas não era suficiente para restaurar as perdas de Ca e Mg no solo, além de não restabelecer as perdas de N em solos de savanas. Além disso, Van de Vijver *et al.* (1999) afirmaram que o efeito fertilizante das cinzas em savanas é muito curto (cerca de 60 dias), pois toda a cinza é prontamente lixiviada com as primeiras chuvas. Dessa forma, as queimadas são de fato apenas mais um agente de distúrbio, com poucos benefícios para a vegetação ou fauna a médio e longo prazo, salvo algumas exceções onde atua na reprodução de espécies lenhosas do cerrado.

O aumento na concentração de nutrientes no solo de saúvas teve correlação com a profundidade (Fig. 04). Apesar de sua baixa densidade em ambientes naturais, podemos considerar que a importância de saúvas na ciclagem de nutrientes é muito relevante, se considerarmos o tamanho das colônias e o tempo de permanência desses ninhos no ambiente, bem como se levarmos em consideração que a maior parte da biomassa vegetal em cerrado está localizada abaixo do solo (Abdala *et al.* 1997). Assim, o efeito negativo das saúvas sobre a biomassa vegetal, por meio da herbivoria, pode ser compensado uma vez que considerável fração da vegetação pode acessar os macronutrientes disponibilizados no interior das colônias e acelerar a recuperação da vegetação como um todo.

No presente estudo apresentou-se evidências de que as saúvas desempenham um importante papel na modificação química dos solos em cerrado, por meio do acúmulo de MO e nutrientes no interior das colônias em diversas profundidades. Em contraste, queimadas sazonais não apresentaram qualquer influência nos estoques de nutrientes nesses solos por meio das cinzas remanescentes, bem como não atuaram em perdas significativas para o sistema, apesar de terem sido, possivelmente, responsáveis por diminuição do efeito positivo dos saúvas nas áreas sob influência do fogo.

Capítulo II

SAÚVAS, QUEIMADAS E A CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES EM ESPÉCIES VEGETAIS DO CERRADO.

RESUMO – A ciclagem de nutrientes envolve os processos geoquímico (solo), biogeoquímico (solo-planta) e bioquímico (planta). Nesse capítulo foi testado se há um papel do fogo e das saúvas no ciclo biogeoquímico, ou seja, se os nutrientes encontrados em concentrações elevadas nas amostras de solo analisadas, também são encontrados nos tecidos foliares de duas espécies de plantas próximas aos saúveiros. Neste experimento também foi testada a hipótese de que nos saúveiros existe maior densidade de raízes do que os locais afastados dos ninhos. A densidade vertical de raízes (0-200 cm) nesses locais foi avaliada por meio de amostragens dentro dos poços de observação escavados no experimento anterior. Em ambas as parcelas (queimada e não queimada) foram coletadas amostras foliares de uma espécie lenhosa e outra espécie herbácea, em áreas com e sem a influência de queimadas ou saúveiros. Conforme esperado, a densidade de raízes foi maior na área de influência das colônias, independente da presença do fogo. Além disso, o teor de nutrientes nas duas espécies estudadas foi maior em indivíduos próximos aos ninhos, em ambos os estratos, confirmando assim que, de fato, as saúvas favorecem as duas espécies vegetais amostradas. A interação fogo e saúvas aumentou o teor de K na espécie herbácea e de S na espécie lenhosa. Isso sugere que plantas sobre os saúveiros das áreas queimadas podem ter esgotado a oferta de nutrientes no solo, em resposta à maior exigência nutricional do crescimento pós-fogo.

2.1 INTRODUÇÃO

A estrutura das comunidades de plantas podem ser diretamente afetadas por fatores bióticos e abióticos. O fogo é um desses fatores; ele é muito comum nos trópicos e tem efeitos consideráveis na estrutura, composição de espécies e ciclagem de nutrientes dos ecossistemas (Coutinho 1978, Crutzen & Andreae 1990). Queimadas podem atuar como agentes de mineralização, aumentando a disponibilidade de nutrientes no curto-prazo e favorecendo a regeneração pós-fogo da vegetação. Em áreas de cerrado, a maioria das queimadas ocorre na estação seca (maio a setembro). A regeneração da vegetação após uma queimada é lenta e gradativa, tendo seu pico apenas no início da estação úmida (outubro a março). Assim, dependendo da época da queimada, grandes áreas de cerrado permanecem descobertas por vários meses. Essas clareiras abertas na vegetação facilitam o estabelecimento de colônias de saúvas durante a revoada da próxima estação úmida.

Assim como o fogo, as saúvas (*Atta* spp.) exercem um importante papel na estrutura dos ecossistemas; essas espécies de formigas cortadeiras também afetam a diversidade de plantas e a ciclagem de nutrientes, tanto diretamente, por meio da herbivoria, como também indiretamente por meio de mudanças nas propriedades do solo (Lugo *et al.* 1973, Haines 1978, Moutinho *et al.* 2003).

Recentemente foi relatado o importante papel de *Atta colombica* no estabelecimento de radículas próximas aos sítios de descarte de lixo das colônias (Farji-Brener & Medina 2000). Segundo esses autores, o fato de *A. colombica* descartar o seu lixo na superfície do ninho e não em câmaras subterrâneas, favoreceu o banco local de sementes, bem como aumentou a densidade de radículas nos murundus dos sauveiros. Moutinho *et al.* (2003) também relataram aumento na biomassa de raízes dentro de sauveiros de *A. sexdens* em floresta secundária na região amazônica.

Uma vez que as plantas são organismos modulares, isto é, exploram o ambiente através de módulos (raízes) em busca de melhores manchas de recursos (água, luz, nutrientes) é provável que, caso os formigueiros disponibilizem os nutrientes acumulados, a vegetação acesse tais nutrientes por meio do seu sistema radicular (López *et al.* 1994). Dessa forma, caso haja efeito positivo das colônias sobre a vegetação, plantas próximas aos ninhos terão maiores teores de nutrientes nos seus tecidos do que indivíduos de mesma espécie localizados em áreas longe dos formigueiros.

Neste estudo foi testado se as queimadas e os saueiros atuam na diminuição ou aumento de raízes quando comparados com locais afastados dos ninhos ou áreas protegidas do fogo. Adicionalmente, testou-se a hipótese de que plantas próximas aos saueiros têm maiores teores de nutrientes nos seus tecidos em relação à plantas sem a influência das colônias ou em áreas queimadas.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Efeito das queimadas e dos saueiros na densidade de raízes

Este estudo foi conduzido no mesmo local do estudo anterior, utilizando-se dos mesmos poços de observação escavados para a retirada das amostras de solo, isto é, em cada parcela foram amostrados três saueiros adultos escavados além dos três poços localizados nas áreas livres da influência dos formigueiros à distância mínima de 25 m das colônias. A densidade de raízes em cada poço foi determinada com a utilização de um transecto retangular (50 x 40 cm), com 80 subdivisões de 5 cm. O transecto foi colocado em uma das quatro paredes do poço (previamente sorteada) e a proporção de subdivisões ocupadas com raízes (diâmetro > 2 mm) foi determinada.

Esse procedimento foi repetido 5 vezes, até a completa amostragem do perfil (2 m). Diferenças entre os tratamentos foram comparadas por meio de ANOVA. A presença do fogo e das saúvas foi considerada a variável explicativa, sendo a proporção de raízes, a variável resposta.

2.2.2 Efeito das queimadas e dos saueiros no teor de nutrientes foliares de duas espécies do cerrado

Além de investigar se a vegetação busca um sítio de forrageamento mais propício, por meio da densidade de raízes, é necessário verificar se as plantas realmente assimilam os nutrientes disponibilizados. Para testar a hipótese de que os saueiros facilitam o acesso aos nutrientes pela vegetação adjacente, foram coletadas amostras de folhas de dez espécimes de lobeira (*Solanum lycocarpum*) (Solanaceae), e dez espécimes da gramínea, *Echinolaena inflexa* (Poaceae) - o capim flecha (Fig. 01).



Fig. 01 - Espécies vegetais escolhidas para análise foliar. Indivíduos de lobeira, *Solanum lycocarpum* (Solanaceae) (esquerda) e capim-flecha, *Echinolaena inflexa* Poir. (Poaceae), sobre colônia de *Atta laevigata*.

Metade das amostras foi coletada sobre cinco saueiros adultos (ninhos diferentes dos utilizados para a escavação dos poços) e a outra metade foi coletada em áreas fora da área de abrangência dos saueiros. As amostras foram coletadas 60 dias após a última queimada, período no qual a vegetação herbácea já estava restabelecida na parcela, inclusive sobre os saueiros. Essas espécies foram escolhidas porque são bastante comuns em toda a área de estudo, sendo também facilmente encontradas sobre formigueiros ativos. As amostras foram tratadas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Todas as amostras das folhas foram secas em estufa e submetidas a análises químicas, para determinação das concentrações dos macronutrientes N, Ca, Mg, P, S e K, e dos micronutrientes Al, Zn, Fe, Mn, Cu e B. Todas as análises seguiram os procedimentos descritos pelo método da EMBRAPA (1997).

O efeito do fogo e dos saueiros sobre a concentração foliar foi testado por meio de ANOVA, utilizando-se modelos lineares generalizados (glm), sendo a presença ou ausência do fogo e/ou dos saueiros como variável explicativa e a concentração dos nutrientes a variável resposta. No caso da densidade de raízes, o efeito da presença do fogo e/ou saueiros foi testado utilizando-se um modelo linear com efeitos mistos (lme), usando ANOVA (Crawley 2002), onde a presença de saueiros, profundidade do solo e o efeito do fogo foram considerados como variáveis explicativas. Modelos quadráticos foram incluídos como variável explicativa, quando necessário. Cada poço de observação foi considerado uma amostra independente (n=12). Variáveis não significantes e suas possíveis interações foram excluídas do modelo completo (Crawley 2002).

2.3 RESULTADOS

A densidade de raízes foi maior dentro dos formigueiros, a partir da profundidade de 40 cm ($F_{1,47} = 63,17$, $p < 0,001$), sendo os maiores valores observados nas profundidades de 80 a 160 cm (Fig. 02). Nessas profundidades há predomínio de raízes do estrato arbóreo/arbustivo, sendo, por isso, as principais espécies beneficiadas com a presença de formigueiros. Não houve diferença entre as densidades observadas nos formigueiros das duas áreas ($F_{1,47} = 0,13$; $p > 0,05$), indicando que o fogo não afetou o recrutamento de raízes para o interior das colônias. Em ambas as áreas, na profundidade de 0-40 cm, houve maior densidade de raízes na área controle (Fig. 02). Provavelmente, essas raízes são de espécies herbáceas, que não conseguem colonizar formigueiros ativos por longos períodos em consequência da bioturbação.

Em relação ao estrato herbáceo, foram verificadas maiores concentrações foliares de N, P, K e Ca ($F_{1,18} = 7,6$, $p = 0,013$, $F_{1,18} = 4,2$, $p = 0,34$, $F_{3,16} = 9,8$, $p < 0,01$ e $F_{1,18} = 11,6$, $p = 0,003$, respectivamente) em plantas sobre formigueiros na parcela protegida de queimadas, sendo que o K foi alto também em plantas sobre saueiros na parcela queimada (Fig. 03). Para esse estrato, os saueiros foram as únicas fontes de boro para as plantas ($F_{1,18} = 36,2$, $p < 0,001$) (Tabela 01). Curiosamente, o fogo aumentou os teores de N, P e K nas plantas desse estrato (Fig. 03), mas reduziu os seus teores de Zn (Tabela 01).

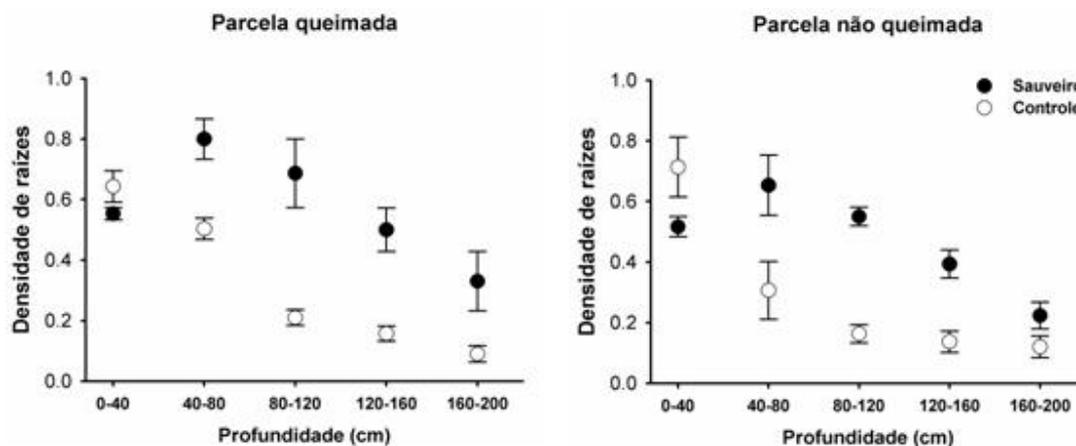


Fig. 02 - Densidade de raízes (proporção), em diferentes profundidades, em áreas controle ou de sauveiros, localizados em parcela queimada ou protegida do fogo (n=3).

Tabela 01 - Análise foliar dos micronutrientes Zn, Fe, Mn, Cu e B em *Echinolaena inflexa* (Poaceae) em função do local de coleta (áreas controle ou sauveiros) e da influência ou não de queimadas (n=5). Letras diferentes numa mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0.05$). Números entre parênteses indicam o erro padrão.

Nutriente (mg/kg)	Zn	Fe	Mn	Cu	B
Parcela não queimada					
Controle	34,24 a (7,6)	263,4 a (74,8)	87,98 a (7,02)	4,66 a (0,24)	0,0 c (0,0)
Sauveiro	27,76 a (5,74)	290,44 a (60,74)	119,22 a (21,70)	5,08 a (0,31)	3,8 a (0,7)
Parcela queimada					
Controle	16,44 b (1,5)	437,56 a (147,62)	122,1 a (26,76)	5,88 a (0,78)	0,0 c (0,0)
Sauveiro	16,02 b (0,62)	1960,9 a (1040,6)	97,32 a (27,7)	5,48 a (0,21)	0,76 b (0,76)

Echinolaena inflexa

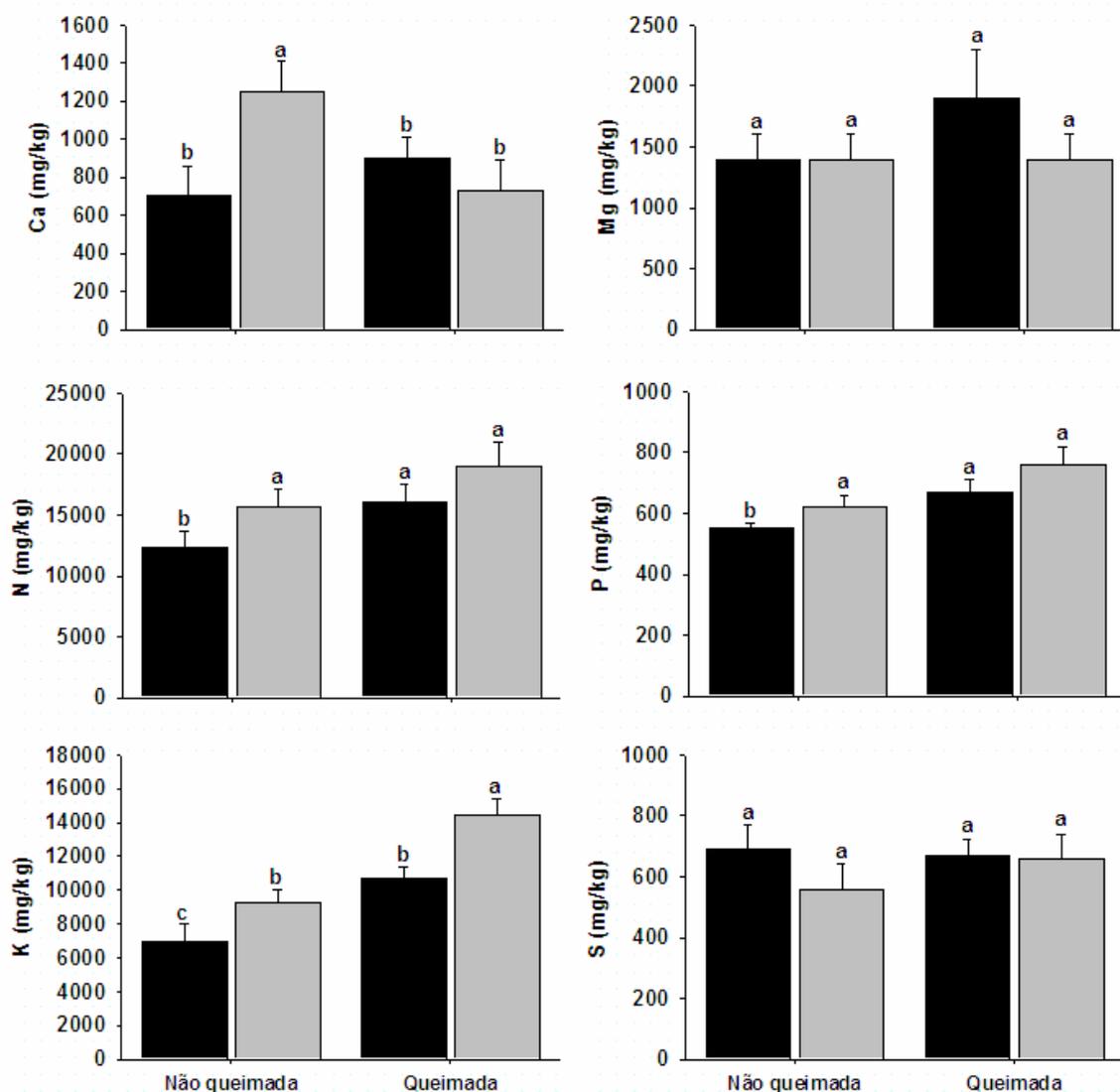


Fig. 03 - Teores foliares dos macronutrientes Ca, Mg, N, P, K e S em *Echinolaena inflexa* (Poaceae) em quatro locais diferentes: plantas sobre cinco saueiros ativos de *Atta laevigata* (barras claras) e plantas provenientes de cinco locais sem a influência das colônias (barras escuras), em uma parcela sob a influência de queimadas e numa área protegida do fogo. Letras diferentes sobre as barras indicam diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0.05$).

No estrato arbóreo-arbustivo os formigueiros elevaram as concentrações de P ($F_{1,18} = 9,2$, $p = 0,0076$) na parcela não queimada e de S ($F_{1,18} = 11,9$, $p = 0,003$) nas duas parcelas (Fig. 04). Também foi observada influência positiva dos saueiros para o aumento dos teores de Cu, na parcela não queimada ($F_{1,18} = 11,7$, $p = 0,003$), Zn, nas

duas parcelas ($F_{1,18} = 26$, $p < 0,001$) e Mn na parcela queimada ($F_{1,18} = 13,3$, $p = 0,002$) (Tabela 02). Os demais nutrientes não foram significativos para esse estrato vegetal.

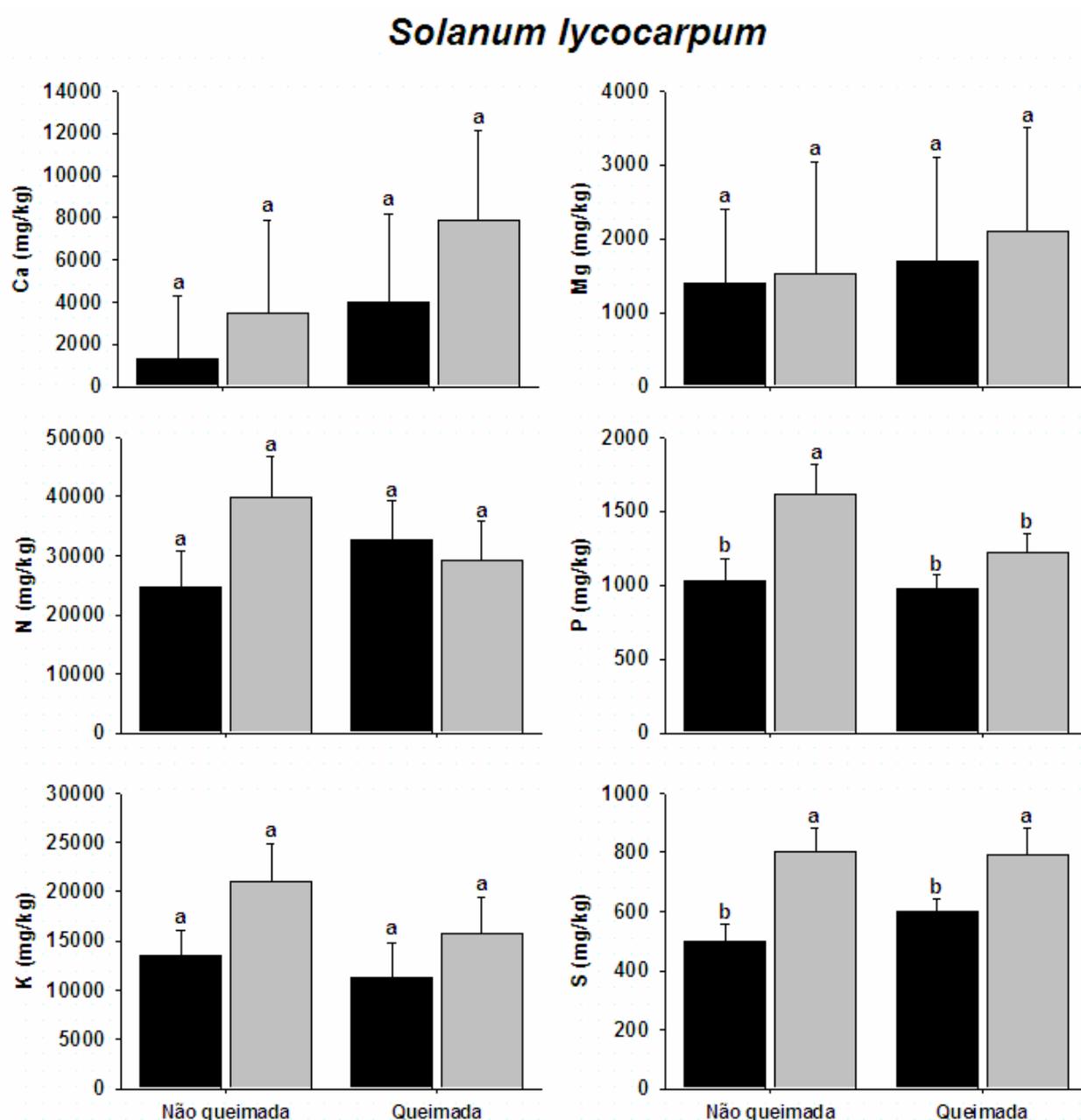


Fig. 4 - Teores foliares dos macronutrientes Ca, Mg, N, P, K e S em *Solanum lycocarpum* (Solanaceae) em quatro locais diferentes: plantas sobre cinco saueiros ativos de *Atta laevigata* (barras claras) e plantas provenientes de cinco locais sem a influência das colônias (barras escuras), em uma parcela sob a influência de queimadas e numa área protegida do fogo. Letras diferentes sobre as barras indicam diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Tabela 02 - Análise foliar dos micronutrientes Zn, Fe, Mn, Cu e B em *Solanum lycocarpum* (Solanaceae) em função do local de coleta (áreas controle ou sauveiros) e da influência ou não de queimadas (n=5). Letras diferentes numa mesma coluna indicam diferença significativa a $\alpha = 5\%$ (ANOVA com contrastes *a priori*). Números entre parênteses indicam o erro padrão.

Nutriente (mg/kg)	Zn	Fe	Mn	Cu	B
Parcela não queimada					
Controle	13,12 b (0,71)	1494,72 a (628,1)	27,91 b (5,18)	12,02 b (2,67)	29,18 a (5,64)
Sauveiro	28,17 a (2,04)	187,25 a (33,92)	29,25 b (1,77)	18,82 a (0,85)	34,87 a (5,43)
Parcela queimada					
Controle	16,06 b (2,85)	710,14 a (261,7)	30,32 b (3,73)	12,98 b (1,08)	36,46 a (5,6)
Sauveiro	26,22 a (3,4)	462,84 a (115,25)	54,03 a (10,04)	10,76 b (1,26)	47,48 a (7,97)

2.4 DISCUSSÃO

Da mesma forma que aumentaram os nutrientes do solo, os sauveiros exerceram igual influência sobre a vegetação adjacente. O fato curioso é que, nesse caso, o efeito foi verificado nas duas parcelas.

A maior densidade de raízes na região dos sauveiros, em ambas as parcelas, sugere de que a vegetação apresenta plasticidade no forrageamento, buscando manchas apropriadas de recursos (Hutchings 1988). Hutchings (1988) sugeriu que em ambientes distróficos (como o cerrado) as plantas tendem a manter alta razão raízes:dossel com raízes funcionais explorando amplas áreas de forrageamento em busca de sítios de nutrientes eventuais e efêmeros, ao invés de um sistema ativo de raízes, com alta plasticidade morfológica. Sendo assim, é provável que a vegetação lenhosa apresente estratégia de forrageamento semelhante a aquela proposta por

Hutchings (1988), ao menos em áreas colonizadas por saúvas. Além disso, recentemente foi demonstrado que o fungo simbiote atua como organismo micorrízico (Abril & Bucher 2004), o que torna os saúveiros sitios ainda mais atrativos às plantas.

A constatação de que houve maior concentração de alguns nutrientes em plantas na parcela queimada, tanto naquelas adjacentes aos formigueiros, quanto nas áreas sem a influência dos ninhos, contrasta com os resultados das amostras de solo. De onde vieram tais nutrientes, se as amostras de solo evidenciaram que havia quantidades insuficientes de minerais nessas áreas? Possivelmente, os nutrientes disponibilizados na área de abrangência dos ninhos foram assimilados de forma mais intensa na parcela queimada, por meio de provável demanda nutricional diferenciada, em função do distúrbio provocado pelas queimadas, dando falsa impressão de que tais nutrientes foram perdidos ou não foram disponibilizados. O mesmo pode ter ocorrido nas áreas distantes dos ninhos. Nesse caso, tanto a provável assimilação de nutrientes, como a possível lixiviação destes nas cinzas deve ter ocorrido em período de, no máximo, 30 dias. Isso porque as amostras de solo - colhidas trinta dias após a queima, já não tinham concentrações de K significantes na parcela, apesar de possuir um razoável conteúdo de P (Figs. 04 e 05, pp. 26 e 27). Esse período corresponde ao intervalo de tempo entre a última queima controlada e a coleta de amostras de solo na parcela queimada. Tais resultados sugerem que o fogo pode ter disponibilizado esses nutrientes às plantas no curto período. O efeito de curto prazo do fogo sobre o teor de nutrientes do solo foi demonstrado em trabalhos anteriores (Batmanian & Haridasan 1985, Cook 1994, Van de Vijver *et al.* 1999). Apesar de algumas diferenças nos teores de macronutrientes da vegetação adjacente aos ninhos terem sido detectadas, em ambas as parcelas, não se encontrou dados na literatura que sejam suficientes para

uma discussão sobre a importância destes resultados. Deste modo, tais efeitos serão apenas registrados no presente trabalho.

Os resultados apresentados, juntamente com aqueles do capítulo 1, reforçam a nossa opinião de que a hipótese de Coutinho não é suficientemente sustentada. Entretanto, essas conclusões devem ser vistas com cautela, pois, apenas duas espécies vegetais foram analisadas. A grande dificuldade em encontrar unidades amostrais com diferentes espécies sobre os ninhos foi a principal razão pela falta de outras espécies analisadas. Apesar de outras espécies de cerrado colonizar saúveiros ativos no campo, apenas o capim-flecha e a lobeira foram encontradas facilmente sobre todas as colônias amostradas.

Mesmo a utilização de uma variedade maior de plantas pode não ser a melhor estratégia para avaliar o papel das saúvas na ciclagem de nutrientes. Schoereder e Howse (1998) avaliaram o efeito da proximidade de colônias de saúvas sobre o teor nutricional de folhas de diversas espécies de cerrado e não encontraram nenhuma relação significativa. Uma vez que esses autores agruparam os dados de todas as espécies coletadas, considerando apenas a distância da colônia, o real efeito da proximidade dos ninhos pode ter sido mascarado pela simples variabilidade interespecífica na concentração de nutrientes foliares entre as espécies estudadas (Haridasan 1992, Malavolta *et al.* 1997). Essa variabilidade é também facilmente notada no presente trabalho, pela observação do conteúdo foliar de nutrientes das duas espécies estudadas (Figs. 03 e 04 e Tabelas 01 e 02). Por exemplo, a concentração de Ca na espécie lenhosa é dez vezes superior aquela da espécie arbustiva.

Dessa forma, futuros estudos que utilizem a adaptação no experimento de Schoereder e Howse (1998), analisando as espécies separadamente em diferentes distâncias das colônias, podem ajudar nas conclusões definitivas sobre o efeito

antagônico do fogo e das saúvas na ciclagem de nutrientes da vegetação como um todo.

Para espécies de formigas cortadeiras que depositam o lixo fora dos ninhos, como algumas espécies de *Acromyrmex* (*Ac. balzani*) e a saúva *A. colombica*, a detecção do efeito do material descartado (lixo) sobre o status nutricional da vegetação é facilitada (Farji-Brener & Ghermandi 2004, Farji-Brener & Medina 2000, Haines 1978). No caso das espécies de saúvas do cerrado, uma das poucas formas viáveis é por meio da análise indireta desse efeito, por meio da avaliação da concentração foliar da vegetação adjacente, mas sem a certeza de que tal vegetação está, de fato, acessando os nutrientes das panelas de lixo. Entretanto, recentemente Sternberg *et al.* (2007) utilizando marcadores radioativos, mostraram que plantas a mais de 10 m de distância dos ninhos estavam assimilando nitrogênio das colônias, demonstrando que esta técnica pode ser eficiente no estudo do efeito das saúvas sobre a ciclagem de nutrientes.

Ao analisarmos os efeitos das saúvas e do fogo sobre a concentração de nutrientes foliares, devemos considerar que, a demanda nutricional da vegetação de cerrado é muito reduzida, devido à carência natural de nutrientes no solo. Sendo assim, a assimilação de alguns nutrientes pode não ser detectada mesmo quando a concentração desses nutrientes no solo é aumentada, seja pelo fogo ou pelas saúvas. Como exemplo, podemos observar que as concentrações de Ca foram maiores na vegetação herbácea apenas sobre os formigueiros na parcela protegida do fogo. O mesmo ocorreu com os teores de P da vegetação arbustiva (Figs. 03 e 04). Possivelmente, sobre os formigueiros, a vegetação tenha utilizado apenas os nutrientes com maior demanda fisiológica e menor disponibilidade natural nessas parcelas. Isso é

sustentado pelo fato de que os solos de cerrado apresentam maiores deficiências nesses elementos (Ritchey *et al.* 1980).

Ao melhorar a qualidade química dos solos, além de facilitar a disponibilidade dos nutrientes à vegetação, as saúvas podem ser um dos principais agentes de sustentabilidade do ecossistema cerrado. Essa impressão é mais evidente quando consideramos que os ninhos de saúvas têm alta durabilidade no ambiente (15 a 25 anos) e alta taxa de *turnover* em ambientes naturais (Perfecto & Vandermeer 1993). Desta forma, saúvas podem acelerar o processo de recuperação da vegetação de cerrado, modificando sua estrutura vegetacional, desde que o balanço entre enriquecimento do solo e herbivoria seja positivo.

Capítulo III

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LIXO DE FORMIGUEIROS DE *Atta sexdens rubropilosa* Forel (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) MANTIDOS COM DIFERENTES SUBSTRATOS***

RESUMO - A comparação da composição química do lixo produzido pelas saúvas e das folhas utilizadas por elas, como substrato, é importante para se avaliar a real contribuição do material vegetal acumulado nas câmaras de lixo nas modificações encontradas nas amostras de solo de diversos estudos. Neste estudo, dois grupos de quatro colônias de *Atta sexdens rubropilosa*, mantidas em laboratório, foram submetidas a dieta de folhas de uma única espécie vegetal por trinta dias. Amostras de folhas das duas espécies foram analisadas e seus teores de macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg), lignina e celulose foram determinados. Após trinta dias, o lixo produzido também foi analisado e os parâmetros químicos foram comparados com a vegetação utilizada como substrato. As concentrações de N, P, S, Ca e Mg do lixo foram maiores do que nas folhas. A razão lignina/celulose do lixo também foi cerca de 50% maior do que o encontrado nas folhas, sendo que o maior consumo de folhas foi associado com maior razão lignina/celulose. Tais resultados indicam que o lixo pode ser a principal razão para o aumento da concentração de nutrientes em solos de formigueiros. Além disso, a maior razão lignina/celulose no lixo do que nas folhas sugere que as saúvas podem desempenhar um importante papel na ciclagem de carbono.

*** Este capítulo contém dados de projetos de iniciação científica dos estudantes Marcelo B.B.Guerra e Washington L.Silva.

3.1 INTRODUÇÃO

As saúvas desempenham um importante efeito local sobre o solo e a vegetação adjacente no cerrado. Uma vez que os saúveiros aumentam a densidade de raízes, a concentração de nutrientes no solo e o teor de nutrientes foliares da vegetação adjacente, torna-se necessário avaliar como essas estruturas afetam a área de abrangência em que estão inseridas.

Vários estudos de campo têm demonstrado que o solo de saúveiros tem maior concentração de nutrientes do que solos de áreas adjacentes (Haines 1978, Farji-Brener & Illes 2000, Moutinho *et al.* 2003). Entretanto, informações sobre a composição química do lixo sem a presença de solo ou a comparação entre o balanço nutricional das folhas e do lixo produzido são escassos e incompletos (Moutinho *et al.* 2003, Abril & Bucher 2004). Moutinho *et al.* (2003) analisaram a composição química do material retirado das panelas de lixo e fungo de formigueiros de *Atta sexdens*, porém, a concentração de nutrientes encontrada não pode ser atribuída exclusivamente ao substrato coletado, pois esse foi coletado juntamente com fragmentos de solo. O mesmo procedimento foi feito por Abril & Bucher (2004).

A composição química real do lixo só pode ser obtida a partir do conhecimento preciso da composição química das folhas utilizadas como substrato e de uma coleta do material de descarte sem a presença do solo (Bucher *et al.* 2004). Em estudo recente, Bucher *et al.* (2004) analisaram o teor de nitrogênio, carbono e fibras em amostras de material vegetal transportados ao ninho e do lixo produzido por colônias de *Acromyrmex lundii*. Esses autores encontraram um balanço positivo entre substrato e lixo, para os valores de N total, cinzas e carbono. Uma vez conhecida a composição química do lixo, pode-se estimar a sua contribuição às propriedades químicas do solo

em amostragens de campo. Em outras palavras, será possível conhecer os valores brutos de nutrientes que são transportados aos ninhos, bem como a quantidade bruta que é devolvida ao sistema por meio do material descartado pelas formigas (lixo). Além disso, será possível saber se os nutrientes estão de fato disponíveis ou se estão imobilizados por algum processo físico-químico.

O objetivo deste trabalho foi determinar, em laboratório, a composição química do lixo produzido por colônias de *A. sexdens* alimentadas com folhas de plantas de teores nutricionais conhecidos bem como estimar o consumo de folhas e a produção anual de lixo pelas colônias. O balanço final entre a entrada (input) e saída (output) de nutrientes pelos formigueiros também foi estimado.

3.2 - MÉTODOS

Oito colônias de *A. sexdens rubropilosa*, mantidas em laboratório há cinco anos foram utilizadas. Cada colônia consistiu de um pote plástico (cinco litros) acoplado a um pote cerâmico (1 litro) e a uma arena plástica de forrageamento (35 cm²) por meio de mangueiras de silicone ($\varnothing = 2,5$ cm) (Sousa-Souto & Souza 2006). Um recipiente de 100 ml foi colocado no centro da arena de forrageamento com algumas formigas mortas da colônia para que as operárias fossem condicionadas a depositar todo o lixo produzido nesse recipiente. O tamanho e a população das colônias utilizadas nesse estudo foram estimados por meio do cálculo do volume do fungo contido no pote plástico (cinco litros) e pela contagem de operárias, larvas e pupas de porções de 50 ml do fungo. De posse desses dados, estimou-se a população total, extrapolando-se os valores obtidos nessas amostras de 50 ml para todo o volume de fungo do ninho (Silva et al. 1981; Pereira & Della Lucia 1998). As oito colônias foram divididas em dois grupos

de quatro e abastecidas com folhas de *Acalypha wilkesiana* Müll. Arg. (Euphorbiaceae) ou *Bauhinia variegata* L. (Caesalpinaceae) durante 90 dias. Essas duas espécies vegetais foram escolhidas em função da boa aceitação pelas formigas criadas em laboratório e por sua facilidade de coleta no campus da UFV. Os primeiros sessenta dias serviram para o condicionamento das colônias às folhas e para que o lixo fosse oriundo de um mesmo material vegetal. A determinação dos parâmetros analisados foi feita durante os últimos trinta dias.

Após o condicionamento, todo o lixo foi retirado e as folhas oferecidas começaram a ser pesadas e oferecidas diariamente. Além disso, diariamente, algumas amostras de folhas foram coletadas, pesadas, secas em estufa a 60 °C por 24 horas e novamente pesadas, para se obter o peso seco das amostras. O material não consumido pelas saúvas foi também retirado, seco e pesado para ser descontado do peso total oferecido. O lixo produzido foi retirado semanalmente e seu peso seco calculado. Esse procedimento foi repetido por quatro semanas consecutivas. Dessa forma, foi obtido o fator de conversão das colônias, determinado pela proporção do peso de folhas consumidas em relação ao peso de lixo produzido. Ao final das quatro semanas, amostras de folhas oferecidas e do lixo de cada colônia foram submetidas à análise das concentrações de nutrientes, celulose e lignina, para se avaliar a qualidade das folhas oferecidas. As amostras de lixo foram submetidas a uma triagem para a remoção de carcaças de formigas mortas. Na determinação de celulose e lignina, empregou-se o método de fibra em detergente ácido (FDA), baseado no método de Van Soest & Robertson (1980), com adaptações propostas por Anderson & Ingram (1996). Para a análise de nutrientes, 10 g de cada uma das amostras foram moídas em moinho para material vegetal e, a seguir procedeu-se à digestão ácida das mesmas para se quantificar os elementos N, P, K, Ca, Mg e S. Na determinação do N, efetuou-se a

digestão sulfúrica das amostras e aplicou-se o método de Kjeldahl descrito por Malavolta *et al.* (1997). Para os demais elementos, procedeu-se a digestão nitro-perclórica. A análise do teor de P foi feita por Espectroscopia de Absorção Molecular com base na metodologia de Watanabe e Olsen (1965). O K foi quantificado através de fotometria de chama seguindo metodologia de Malavolta *et al.* (1997). Os teores de Ca e Mg foram determinados por meio de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado por Indução. E, finalmente o teor de S foi obtido turbidimetricamente, seguindo-se o procedimento descrito por Alvarez *et al.* (2001). A influência do tipo de material vegetal (variável resposta) sobre o consumo de folhas, produção semanal de lixo e a razão lignina/celulose foi comparada nos dois grupos utilizando-se ANOVA. As análises vegetais foram feitas no Laboratório de Análises de Matéria Orgânica do Departamento de Solos da UFV e as concentrações de lignina e celulose pelo Laboratório de Análise de Material Vegetal do Departamento de Zootecnia da UFV.

3.3 - RESULTADOS

O volume e a população das colônias avaliadas foram de aproximadamente 1.000 cm³ de fungo e 4.500 operárias, respectivamente. O consumo de folhas ($F = 16,74$, $p < 0,001$) e a produção de lixo ($F = 7,82$, $p = 0,03$) das colônias mantidas com *B. variegata* foram maiores do que os valores encontrados para as colônias mantidas com *A. wilkesiana* (Tabela 03). Entretanto, o consumo e a produção de lixo não variaram ao longo do tempo ($F = 1,6$, $p = 0,21$). A maior razão lignina/celulose nas folhas oriundas de *B. variegata* ($F = 38,2$, $p < 0,001$) (Fig. 01), indica sua menor

qualidade e pode ter sido o principal motivo para um maior consumo de folhas dessa planta.

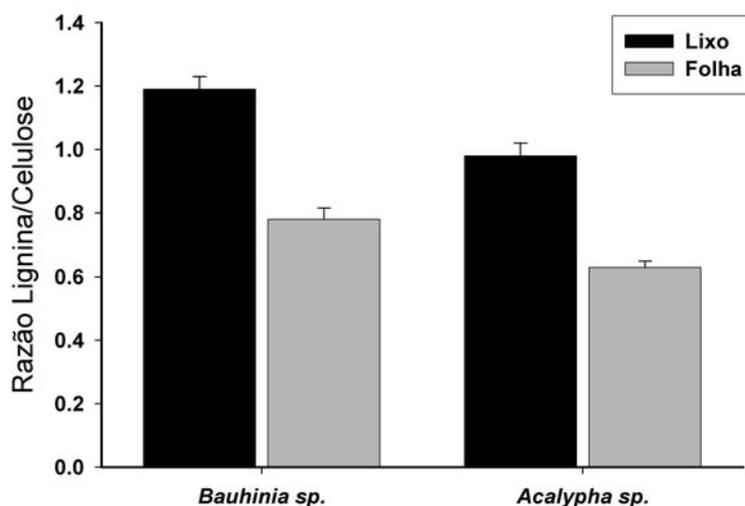


Fig. 01 - Razão lignina/celulose no lixo de colônias de *Atta sexdens rubropilosa* Forel e nas folhas de duas espécies de plantas.

As concentrações de nutrientes no lixo foram significativamente maiores do que nas folhas (Fig. 02), independente da espécie vegetal cortada. As concentrações de nutrientes nas folhas de *A. wilkesiana* foram sistematicamente maiores do que as de *B. variegata*. Já as concentrações de nutrientes no lixo dos formigueiros, excetuando-se o P, foram muito semelhantes nas duas espécies vegetais (Fig. 02). Assim, há um incremento dos teores de nutrientes pela colônia no material processado.

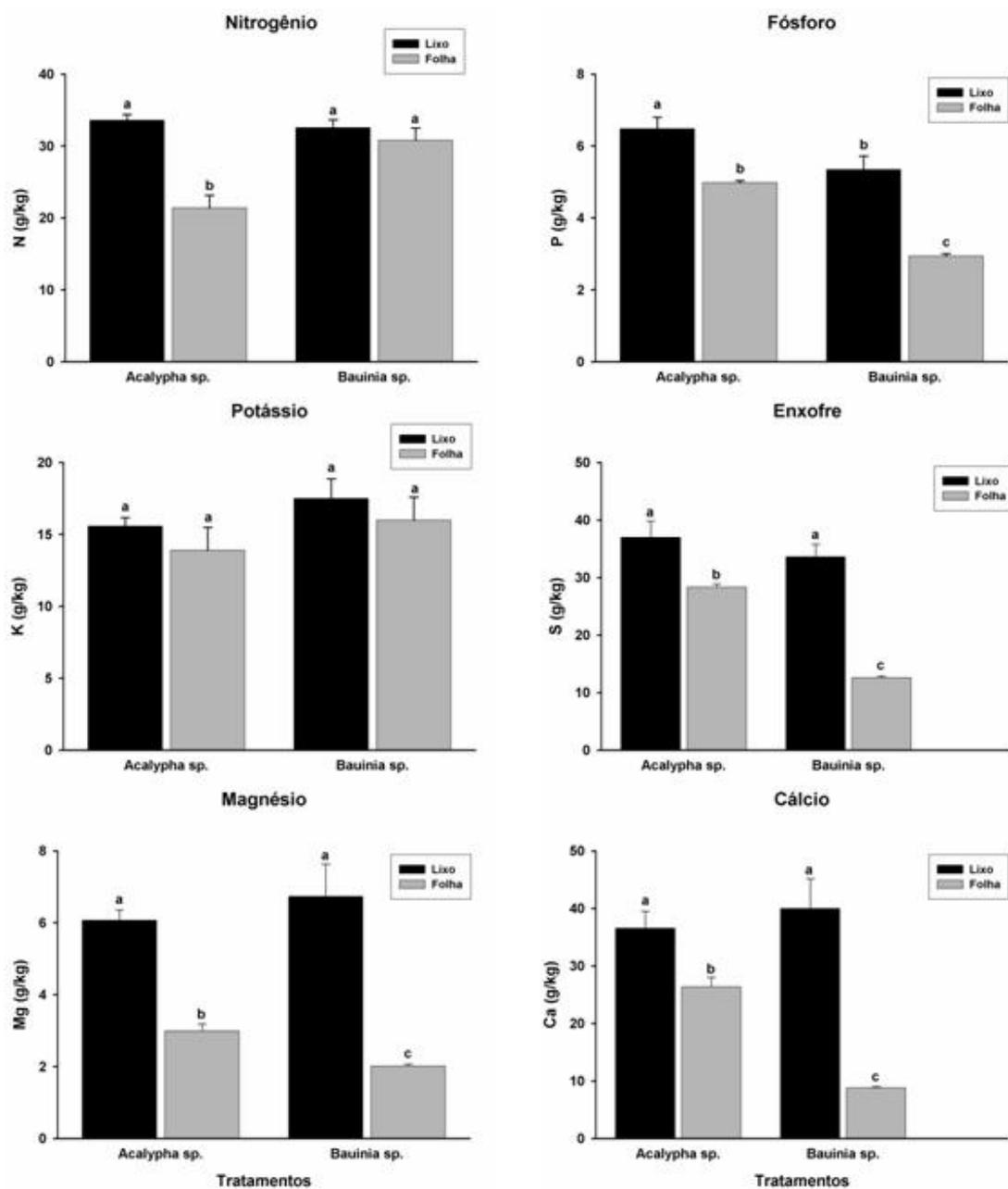


Fig. 12 - Valores médios (\pm EP) de macronutrientes no lixo de formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* e nas folhas de *Acalypha wilkesiana* (Euphorbiaceae) e *Bauhinia variegata* (Caesalpinaceae) (n=8).

Os fatores de conversão não diferiram entre as colônias mantidas com as duas espécies de plantas ($F = 1,03$, $p = 0,36$), indicando que, independente das espécies usadas neste estudo, a taxa de conversão é semelhante (Tabela 03).

Somando-se os valores obtidos pelas duas espécies vegetais, obtemos o balanço entre o que entra e o que sai na forma de nutrientes por meio desse sistema saúvas-fungo-lixo (Tabela 04). Para todos os nutrientes, o balanço é sempre positivo para os valores de saída (Tabela 04).

3.4 - DISCUSSÃO

A análise do material produzido pelas formigas e sua comparação com os teores encontrados na vegetação consumida indicam que o lixo dos saúveiros é o principal responsável pela melhora na composição química do solo das colônias no campo.

Com base nos dados da Tabela 03 pode-se observar que a qualidade do material vegetal não afeta a taxa de conversão de colônias de *A. sexdens rubropilosa*, apesar de alterar a quantidade de material forrageado e a produção de lixo. Os fatores de conversão (1,45-1,63) foram próximos aos de *A. vollenweideri* (1,5) e *Acromyrmex landolti* (1,8) em trabalhos de campo (Jonkman, 1977), indicando que esses valores podem ser semelhantes entre diferentes espécies de formigas cortadeiras e não variar com a qualidade do material transportado.

Tabela 03 - Valores (média ± EP) dos parâmetros avaliados em oito colônias de *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae) submetidas a 30 dias de experimento, com dois diferentes substratos. Letras diferentes numa mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0.05$).

Tratamento (substrato)	Consumo (g) (peso seco)	Lixo produzido (g) (p. seco)	Fator de conversão	Estimativa consumo/ano (g)
<i>Acalypha wilkesiana</i>	32,48 ± 7,18 b	21,85 ± 3,3 b	1,45 ± 0,11 a	390
<i>Bauhinia variegata</i>	54,17 ± 6,65 a	32,93 ± 2,1 a	1,63 ± 0,12 a	650
Média	43,3	27,39	1,54	520

O consumo vegetal médio anual dos formigueiros, em peso seco, foi de aproximadamente 520 g/ano (Tabela 03). Considerando o valor médio de 67% de umidade nas folhas utilizadas nesse estudo, o valor em peso fresco é de aproximadamente 1.570 g/ano. Esses valores são expressivos, pois o número de operárias (± 4.500) das colônias foi muito pequeno, comparado ao de colônias adultas dessa espécie em habitat natural (> 15 milhões de indivíduos) (Autuori 1947, Coutinho 1984). Além disso, a densidade de colônias de *A. sexdens rubropilosa* pode ser superior a 50/ha (Araújo *et al.* 1997, Zanetti *et al.* 2003) em povoamentos de *Eucalyptus* spp.. Nesses povoamentos a razão lignina/celulose nas folhas é superior a 1,2 (Costa *et al.* 2005), ou praticamente o dobro da encontrada para *A. wilkesiana*, indicando maior quantidade de biomassa vegetal incorporada aos ninhos e justificando o status de principais pragas herbívoras das formigas cortadeiras nesses povoamentos.

Tabela 04 - Balanço entre a quantidade média (em gramas) de nutrientes fornecidos pela vegetação (*Acalypha wilkesiana* e *Bauhinia variegata*) e sua saída por meio do lixo produzido em oito colônias de *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae). Números entre parênteses representam 01 erro padrão.

Tratamento (substrato)	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Vegetação	26,1 (4,7)	3,95 (1,05)	14,95 (1,05)	17,6 (8,8)	2,5 (0,55)	19,5 (7,2)
Lixo	33,07 (0,55)	5,9 (0,31)	16,54 (0,79)	38,27 (2,85)	6,4 (0,46)	35,29 (1,8)
Balanço L/V	1,26	1,5	1,1	2,17	2,56	1,8

Ao se comparar os teores de nutrientes nos solos (Fig. 04, cap. 01) com os teores dos mesmos no lixo dos formigueiros, pode-se observar que o valor de P total (fósforo total) no lixo mostra concentrações cerca de 10 vezes maiores, sugerindo sua importância no ciclo orgânico de P nos solos. Segundo Novais e Smyth (1999), cerca de 30 a 70% do P total do solo encontra-se na forma orgânica (Po) e em solos de florestas esse valor tende a ser bem maior. Ainda segundo estes autores, o fósforo orgânico do solo se encontra em duas formas principais: os ortofosfatos de monoésteres que constituem a forma predominante de Po nos solos e, ainda os ortofosfatos de diésteres que são os componentes da fração orgânica mais prontamente mineralizáveis. Considerando esses dados, pode-se inferir que um saueiro é importante fonte biológica de fósforo para o sistema, na área de cerrado estudada. Além disso, como demonstrado no capítulo 1, os solos dos saueiros apresentam altas concentrações de P remanescente. Num prazo de alguns anos, após a morte da colônia e sua posterior degradação, esse fósforo estocado poderá ser

disponibilizado, mediante condições físico-químicas favoráveis. Para os demais elementos (Ca, Mg e S) a análise comparativa entre teores totais ligados a matéria orgânica e os teores trocáveis é dificultada, mesmo que a maior parte dos elementos seja mineralizável com o tempo.

Considerando a maior razão lignina/celulose do lixo em comparação ao substrato, podemos supor que o lixo em colônias do campo seja de difícil decomposição no curto prazo (Norby *et al.* 1992, Seneviratne 2000). Assim, é possível que os nutrientes do lixo passem a envolver um ciclo mais lento de biodisponibilização de nutrientes, em condições não favoráveis de temperatura e umidade para sua decomposição. A baixa qualidade do lixo para decomposição também foi relatada em trabalho recente, que verificou um reduzido teor de proteína e alto teor de fibras no lixo de *Ac. lundii* (Bucher *et al.* 2004). Esta lenta biodisponibilização torna-se um fator positivo, pois permite a manutenção de estoques de P_o de longo prazo, garantindo um suprimento mais gradual de P e de outros nutrientes para o crescimento de plantas nessas condições (Novais & Smyth, 1999).

A utilização de apenas dois substratos vegetais foi fundamental para se conhecer o papel real do lixo das saúvas na ciclagem de nutrientes. De acordo com os dados da Tabela 4, pode-se observar que as saúvas não só devolvem os nutrientes retirados da vegetação por meio da herbivoria, como também fornecem um aporte de nutrientes, possivelmente oriundos da atividade de processamento realizado pelo fungo simbiote (Abril & Bucher 2004).

Este seria talvez, ao contrário do fogo e da fragmentação, um dos únicos agentes de distúrbio no ecossistema cerrado que não provocaria um desequilíbrio na concentração de nutrientes minerais no ambiente. Porém, esse experimento mostra que colônias de *A. sexdens rubropilosa* tendem a aumentar o consumo de material vegetal

de baixa qualidade. Por um lado, em ambientes distróficos, como o cerrado, esse maior consumo pode acarretar em maior acumulação de biomassa na colônia e maior enriquecimento do solo. Por outro lado, essa tendência de um maior consumo de material vegetal de menor valor nutricional pode acarretar em um maior dano por herbivoria e redução significativa da biomassa nesses ambientes.

São necessários trabalhos mais detalhados sobre a mineralização potencial do lixo em condições de laboratório e campo, permitindo estimar sua contribuição nos ciclos biogeoquímicos em solos tropicais, onde há grande atuação de formigas. Tais fluxos podem ter considerável influência nos processos de ciclagem de nutrientes em latossolos, ainda que sejam completamente negligenciados nos balanços de nutrientes nos modelos utilizados até o presente momento.

Capítulo IV

SEQUESTRO DE CARBONO POR SAÚVAS: EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS

RESUMO - O aumento das emissões antropogênicas de CO₂ nas últimas décadas, associado à redução das áreas florestais, estão entre os principais fatores responsáveis pelas recentes mudanças climáticas globais e representam o ponto-chave de discussão do protocolo de Kyoto. Neste capítulo é feita revisão de literatura de forma a apresentar alguns dados que sugerem um papel direto e indireto das saúvas (*Atta* spp.) no seqüestro de carbono. Com base em dados de diversos estudos, incluindo os dados do presente trabalho, pode-se estimar que as saúvas sejam responsáveis pelo seqüestro anual de 0,14 t ha⁻¹ de carbono em ecossistemas Neotropicais. Obviamente que esse valor representa apenas uma estimativa. Eventuais perdas de CO₂ por decomposição parcial da MO dentro dos formigueiros, bem como aquelas provocadas pelo efeito negativo da herbivoria devem ser consideradas. Entretanto, os possíveis ganhos em potencial de seqüestro pela vegetação em resposta aos efeitos indiretos que as colônias causam na produção de biomassa (penetração de raízes e fertilidade do solo) também devem ser levados em conta. Independentemente dos valores envolvidos, a atividade das saúvas se mostra relevante nas estimativas de seqüestro de carbono na região Neotropical.

4.1 INTRODUÇÃO

O recente aumento das emissões antropogênicas de CO₂, associado com a redução das áreas florestadas, vem alarmando os diversos segmentos da sociedade, em virtude de sua influência nas mudanças climáticas globais (Grace 2004). O protocolo de Kyoto, firmado na Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC 1997), e assinado por representantes de diversos países, propõe drástica redução das emissões de gases-estufa pelos países desenvolvidos e a criação de alternativas científico-tecnológicas que visem à aplicação de práticas não poluentes (Grace 2004). Ainda dentro do contexto do Protocolo de Kyoto, diversas formas de incentivos são propostas aos países que promoverem a proteção e o aumento de reservatórios de C, como a possibilidade de negociação do C estocado nesses depósitos em bolsas internacionais, ao preço de US\$ 10 a US\$ 100 por tonelada de carbono (Grace 2004, Robertson *et al.* 2004). Apesar disso, estimativas recentes indicam que as concentrações de CO₂ na atmosfera poderão alcançar 970 ppm até o final deste século, representando cerca de 260% dos níveis atuais e agravando substancialmente o problema do aquecimento global no planeta (Malhi *et al.* 2002, Beedlow *et al.* 2004) (Fig. 01).

Aproximadamente 55% dos 8 bilhões de toneladas de CO₂ liberadas anualmente pela queima de combustíveis fósseis, emissões de gases estufa e pelo desmatamento, são reabsorvidas pelos ecossistemas aquáticos e terrestres por diferentes processos bióticos e abióticos (Norby 1997, Beedlow *et al.* 2004). Essa reabsorção é muito importante, pois sem ela, os efeitos do aquecimento global seriam agravados.

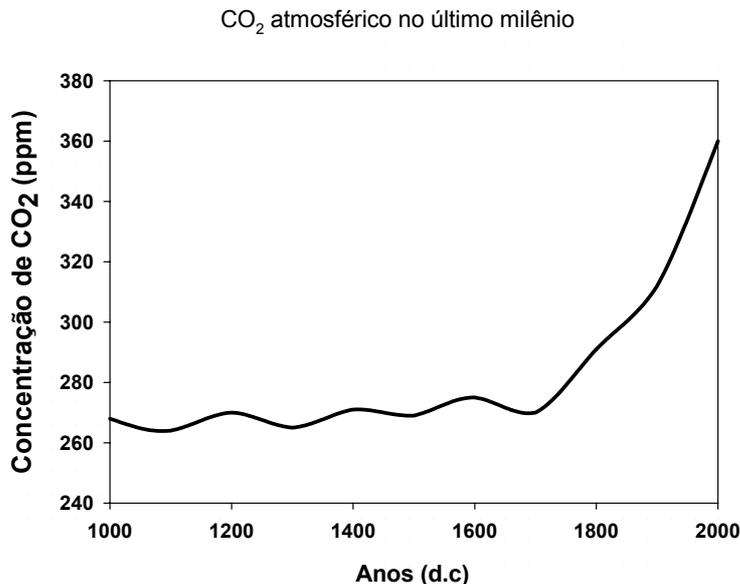


Fig. 01 - Medidas da concentração de CO₂ na atmosfera, no último milênio (ppm). Houve aumento considerável da concentração a partir do século XVII, período em que teve início a Revolução Industrial (adaptado de Etheridge *et al.* 1996).

Nos ecossistemas terrestres a principal forma de reabsorção do CO₂ atmosférico é por meio da fotossíntese. Nesse processo parte do carbono absorvido é utilizada pelas plantas para a produção de tecidos (raízes, troncos e folhas) e só retornará para a atmosfera após a senescência dos tecidos vegetais, sua deposição no solo e posterior decomposição pelos microrganismos (Bazzaz & Fajer 1992). Teoricamente, quanto mais lignificado for o tecido vegetal (troncos e ramos grossos), mais difícil será sua decomposição e, conseqüentemente, maior será o tempo de retenção do C no ambiente terrestre - o chamado "seqüestro de carbono" (Beedlow *et al.* 2004). O tempo de seqüestro do C atmosférico nos tecidos vegetais pode variar de alguns dias ou meses (folhas da serapilheira, ramos finos e radículas) até vários anos (troncos e raízes grossas) (Seneviratne 2003). Mesmo no solo o C da serapilheira poderá permanecer por mais tempo (vários anos) caso a MO (MO) seja incorporada a profundidade suficiente para que a baixa disponibilidade de oxigênio retarde o processo de

decomposição. Em solos tropicais a incorporação de MO a profundidades maiores que 25 cm pode promover um seqüestro de C de aproximadamente 100 anos (Lobo *et al.* 1980, Harrison *et al.* 1990). Isso faz com que, apesar do importante papel da vegetação, os solos sejam vistos como o principal depósito de C dos ecossistemas terrestres, sendo a MO a principal forma de C encontrada (Batjes 1996).

Tanto os solos de regiões temperadas como os tropicais apresentam uma organização hierárquica bem definida e suas funções são ditadas por sutis determinantes dessa organização (Lavelle *et al.* 1993). Antes de ser incorporada ao solo, a MO passa por uma série de etapas. A fragmentação da serapilheira é realizada por colembolas, centípodas, e ácaros e posteriormente esses fragmentos serão decompostos pela atividade microbiana do solo. Cupins e minhocas por sua vez, convertem o material vegetal fragmentado em húmus, que tem um tempo de mineralização de até mil anos (Seneviratne 2003). As paredes dos cupinzeiros de diversas espécies são revestidas de MO, que pode ficar retida por centenas de anos (Lavelle 2002). Por outro lado, em floresta temperada, a inoculação experimental de minhocas promoveu incorporação de 20 cm da MO no solo (Judas *et al.* 1997). Além disso, a bioturbação (revolvimento) do solo por formigas de diversas espécies modifica sua estrutura físico-química (Lobry de Bruyn & Conacher 1990, Nkem *et al.* 2000). Nesse contexto, diversos trabalhos reportam a importância das saúvas na modificação física e química dos solos (Farji-Brener & Illes 2000, Moutinho *et al.* 2003, Verchot *et al.* 2003). Entretanto, a despeito de possuir um dos maiores sistemas coloniais subterrâneos do mundo, nenhuma referência é dada ao seu papel no seqüestro de carbono. Possivelmente, as saúvas desempenham um papel no seqüestro de carbono tão importante quanto o desempenhado por cupins e minhocas.

Neste capítulo são apresentados alguns dados que demonstram importante papel das saúvas no seqüestro de C, por meio da incorporação de MO no solo bem como na ciclagem de nutrientes em cerrado. Além disso, o impacto ecológico e econômico do seqüestro de carbono promovido por essas formigas na floresta amazônica foi estimado.

4.2 Atividade das saúvas e características dos ninhos

As saúvas são formigas cortadeiras do gênero *Atta*, restritas à região Neotropical e distribuídas entre as latitudes 32° N e 33° S (Cherrett 1989). Dentro de sua área de distribuição, essas formigas colonizam os mais diversos ambientes, como desertos, savanas, pastagens abertas, áreas de cerrado, restinga e florestas. A densidade dos ninhos é bastante variável (0,4 a 16 colônias ha⁻¹) assim como o tamanho das colônias (4 - 350 m²) (Coutinho 1984, Farji-Brener & Illes 2000). As colônias de saúvas estão entre os maiores sistemas subterrâneos existentes na natureza. Durante a construção dos seus ninhos, grande quantidade de solo é revolvida, causando a inversão dos horizontes (Moutinho *et al.* 2003). Essas formigas cortam grande quantidade de espécies vegetais e transportam os fragmentos para câmaras subterrâneas onde o material vegetal é então incorporado ao fungo simbionte. O material descartado é depositado em câmaras de lixo, junto com carcaças de operárias mortas (Weber 1972).

4.3 De que forma as saúvas podem atuar no seqüestro de carbono?

Como visto anteriormente, em ecossistemas terrestres o carbono pode ser seqüestrado de duas formas: (i) pela produção de biomassa vegetal, via fotossíntese e

(ii) pela incorporação de MO nos solos, em profundidades superiores a 25 cm. Diversas atividades realizadas pelas saúvas podem convergir para uma das duas formas de seqüestro de C, como se pode observar na figura 02.

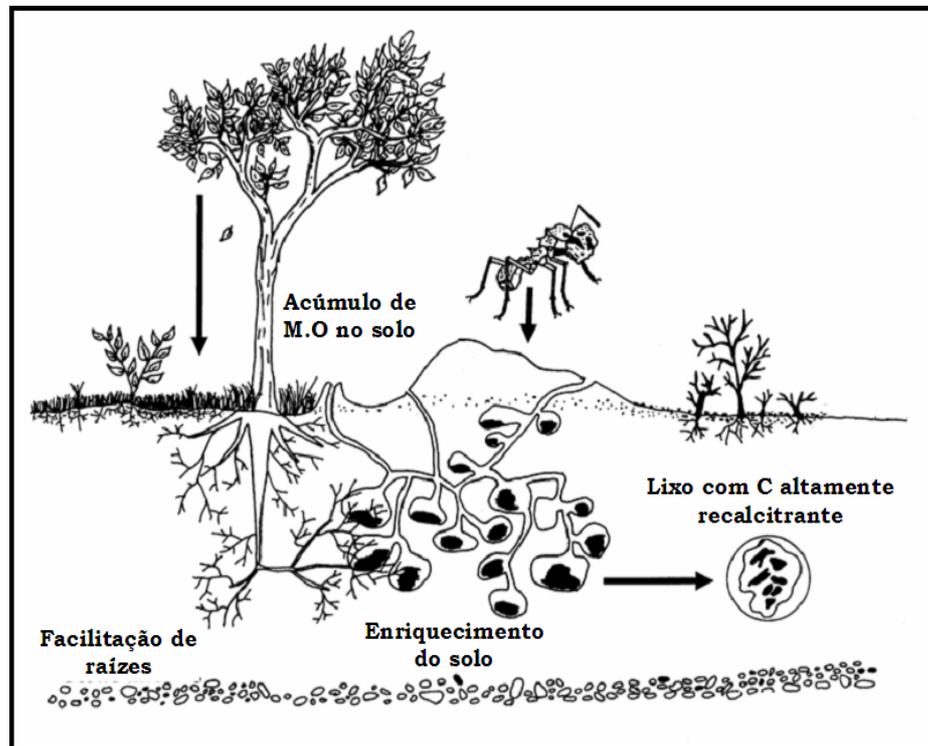


Fig. 02 - Esquema representando o possível papel ecológico das saúvas no seqüestro de C em ecossistemas Neotropicais.

Ao cortarem, preferencialmente, material vegetal de rápida decomposição (folhas, flores e ramos finos) e promoverem a sua incorporação em câmaras subterrâneas, formigas saúvas podem aumentar a quantidade de MO no solo e, conseqüentemente, o tempo de seqüestro desse material, uma vez que a decomposição desse material é retardada. Além disso, recentes estudos demonstraram que o fungo simbiote cultivado pelas saúvas não degrada lignina e celulose (Abril & Bucher, 2002, 2004). A incapacidade do fungo em degradar esses compostos faz com que o lixo produzido seja altamente recalcitrante, ou seja, de difícil decomposição, pela microfauna do solo (Norby *et al.*, 1992, Seneviratne, 2000).

Além dos efeitos diretos, deve-se levar em consideração as atividades que, indiretamente, desencadeiam um maior seqüestro de carbono pela vegetação. Teoricamente, elevadas concentrações de CO₂ na atmosfera conduzem em maior atividade fotossintética da vegetação e, conseqüentemente, maior produção de biomassa vegetal - o chamado "efeito fertilizante do CO₂" (Bazzaz & Fajer, 1992). Entretanto, a maior produção de biomassa não depende apenas de altas concentrações de CO₂, mas principalmente de nutrientes presentes no solo. Infelizmente, os solos de florestas temperadas e tropicais apresentam uma deficiência acentuada de nutrientes, o que inviabiliza qualquer efeito fertilizante do CO₂ (Norby *et al.*, 1992, Seneviratne, 2000).

A simples presença de saueiros pode, indiretamente, aumentar o seqüestro de CO₂ pela vegetação. Solos de saueiros possuem 1,3 a 80 vezes mais macronutrientes (Ca, Mg, K, P, N e S) do que solos sem a influência das colônias (Haines, 1978, Farji-Brener & Silva, 1995, Farji-Brener & Illes, 2000, Moutinho *et al.*, 2003). Isso significa que, caso a vegetação acesse o solo de saueiros, haverá maior disponibilidade de nutrientes para a produção de biomassa, inclusive num ambiente saturado de CO₂.

4.4 Como podemos saber se esses efeitos estão realmente acontecendo?

Os possíveis efeitos propostos na figura 13 podem ser parcialmente testados por meio dos dados obtidos nos experimentos de campo e laboratório, objeto dessa tese. Por exemplo, as implicações do efeito positivo dos saueiros na fertilidade do solo sobre o seqüestro de carbono podem ser discutidas. Dessa forma, a hipótese de que os saueiros aumentam as concentrações de MO e nutrientes no solo, uma vez

confirmada, permite inferir que os teores de carbono seqüestrado em solos de saúveiros são maiores do que em áreas sem a influência das colônias. Da mesma forma, a maior densidade de raízes dentro dos formigueiros indica maior concentração de biomassa vegetal (ou seja, carbono) nessas áreas.

Uma vez que o fungo simbiote não degrada celulose nem lignina (Abril & Bucher 2002), é provável que o lixo produzido tenha maior concentração desses compostos do que a mesma quantidade de folhas cortadas. Essa hipótese também foi confirmada nos experimentos de laboratório discutidos no capítulo 3.

O lixo produzido pelas saúvas apresentou, em média, o dobro de C recalcitrante (lignina + celulose) do que as amostras foliares (Fig. 11). Esse fato indica que a digestibilidade do lixo pode ser até duas vezes inferior a do material vegetal cortado. Como esses compostos recalcitrantes dificultam a decomposição da MO (Norby 1997), as saúvas podem favorecer o seqüestro de C no solo não apenas incorporando MO a grandes profundidades, como também aumentando o tempo de permanência do C no solo ao promover alteração da composição química desses compostos, dificultando sua decomposição.

4.5 Podemos estimar a importância das saúvas no seqüestro de carbono na região Neotropical?

Para se entender melhor o papel das saúvas no seqüestro de carbono, é preciso quantificar (ou estimar) o total de carbono que uma colônia é capaz de reter em seus domínios anualmente. Com isso, pode-se ter uma melhor definição se o potencial de seqüestro por essas formigas tem algum significado para o ecossistema no qual elas vivem. Além disso, o impacto econômico do seqüestro de C por saúvas pode ser

estimado, adotando o valor de crédito internacional de carbono, de US\$ 10 por tonelada de C seqüestrada (Robertson *et al.* 2004).

Considerando um consumo anual médio de 160 kg de biomassa vegetal seca por uma colônia adulta, calculado a partir de trabalhos de estimativas de consumo para diversas espécies de saúvas (Cherrett 1989, Fowler *et al.* 1990), pode-se estimar a acumulação de 80 kg de C ano⁻¹ por essa colônia, pois, em média, metade da biomassa vegetal seca é formada por carbono.

Com base em dados de monitoramento de seqüestro de carbono por florestas estima-se que a floresta Amazônica (com área de 500 milhões de ha) esteja acumulando aproximadamente 0,5 a 1 t ha⁻¹ de carbono anualmente (Philips *et al.* 1998). Considerando a densidade média de 1,7 colônias ha⁻¹ (Jonkman 1978, Cherrett 1989) significa que saúvas localizados nesta floresta estejam seqüestrando o equivalente a 0,14 t ha⁻¹ ou 68 milhões de toneladas de C anualmente. Em outras palavras, os saúvas podem seqüestrar o equivalente a 13% de todo o carbono seqüestrado pela floresta Amazônica!!! Em termos econômicos, as saúvas representariam um crédito internacional de C de US\$ 680 milhões, apenas na região amazônica.

Obviamente que esses valores representam apenas estimativas. Deve-se ainda considerar eventuais perdas de CO₂ por decomposição parcial da MO dentro dos formigueiros, bem como determinar as perdas provocadas pelo efeito negativo da herbivoria (que pode diminuir consideravelmente o potencial fotossintético da vegetação). Entretanto, deve-se também considerar possíveis ganhos em potencial de seqüestro da floresta pelos efeitos indiretos que as colônias causam na produção de biomassa (penetração de raízes e fertilidade do solo) e que não foram aqui contabilizados. De qualquer forma, pode-se observar que estamos entrando num

campo ainda pouco explorado pela ciência, onde novos e conclusivos estudos são necessários para melhor entendimento de todo processo envolvido no seqüestro de C por meio da mesofauna do solo.

Todas essas considerações nos levam a formular novas questões que busquem entender melhor o papel das saúvas no seqüestro de C, como (i) de que forma as saúvas atuam no seqüestro de C nos diferentes tipos de fitofisionomias (restingas, cerrado, florestas, etc.)? (ii) por quanto tempo o carbono presente na MO do solo pode ficar imobilizado em um sauveiro? (iii) o balanço herbivoria x seqüestro de C é positivo?

A hipótese de que as saúvas desempenham importante papel no seqüestro de C em áreas Neotropicais claramente não solucionará o problema do aquecimento global do planeta, mas em áreas com alta densidade de sauveiros, onde o seqüestro pode ser mais efetivo, essas formigas devem ser vistas como um importante componente de um intrincado e complexo processo. Em áreas de pastagens abandonadas, por exemplo, onde o seqüestro de C pela vegetação é pequeno, as saúvas facilitam a recolonização de espécies lenhosas, acelerando a sucessão de espécies nessas áreas (Jonkman 1978, Moutinho *et al.* 2003). Assim, as saúvas devem apenas ser vistas como um dos vários componentes que atuam no seqüestro de carbono na região Neotropical.

CONCLUSÕES

O presente trabalho testou o papel do fogo e das saúvas na ciclagem de nutrientes em área de cerrado.

Na ausência do fogo, os solos oriundos de saúvas apresentaram teores de nutrientes 2 a 50 vezes superiores aos solos sem a influência delas, além de elevados teores de MO e capacidade de trocas catiônicas.

O fogo, entretanto, reduziu tais teores nos solos dos saúvas, mas não diferiu em relação aos teores das outras áreas estudadas.

Independente da presença do fogo, os saúvas favoreceram a densidade de raízes e o teor nutricional das folhas da vegetação herbácea e arbóreo-arbustiva. O fogo favoreceu as gramíneas distantes dos saúvas, mas reduziu os teores de outros elementos na vegetação próxima aos ninhos.

Em laboratório, constatou-se que os teores de nutrientes presentes no lixo são, em geral, superiores daqueles encontrados nas folhas utilizadas como substrato.

Além disso, os teores de celulose e lignina do lixo foram 50% maiores do que os encontrados nas folhas.

Colônias de *A. sexdens rubropilosa* tendem a aumentar o consumo de material vegetal de baixa qualidade (razão celulose/lignina elevada).

O consumo de biomassa anual de uma colônia considerada muito pequena (± 4.500 operárias), é de aproximadamente 520 g de peso seco ou 1.570 g de peso fresco.

Diversos atributos dos saúvas, como a acumulação de MO e biomassa radicular, favorecimento da vegetação lenhosa e herbácea, biodisponibilização do fósforo etc. demonstram sua importância no seqüestro de carbono nos diversos ambientes neotropicais.

REFERÊNCIAS:

- Abdala, G. C., Caldas, L. S., Haridasan, M. & Eiten, G. 1997. Belowground organic matter and root: a shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Revista Brasileira de Ecologia*, 1: 36-49.
- Abril, A.B. & Bucher, E.H. 2002. Evidence that the fungus cultured by leaf-cutting ants does not metabolize cellulose *Ecology Letters* 5: 325–328.
- Abril, A.B. & Bucher, E.H. 2004 Nutritional sources of the fungus cultured by leaf-cutting ants *Applied Soil Ecology* 26: 243-247.
- Alvarez, V.V.H.; Dias, L.E.; Ribeiro JR., E.S.; Souza, R.B.; Fonseca, C.A. 2001. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Editora UFV; Viçosa – MG.
- Anderson, J.D.; Ingram, J.S.I. 1996. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2. ed. Wallingford: CAB International, 171 p.
- Andrade, F. V., Mendonça, E. S., Alvarez, V., V. H. & Novais, R. F. 2003. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 27:1003-1011.
- Araújo, G.M. & Haridasan, M.A. 1989. A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in Central Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19: 1075-1089.
- Araújo, M. S., Della Lucia, T. M. C. & Mayhé-Nunes, A. J. 1997. Levantamento de Attini (Hymenoptera, Formicidae) em povoamento de *Eucalyptus* na região de Paraopeba, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 14:323-328.

- Araújo, M. S., Della Lucia, T. M. C. & Picanço M. C. 2004. Impacto da queima da palhada da cana-de-açúcar no ritmo diário de forrageamento de *Atta bisphaerica* Forel (Hymenoptera, Formicidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 21:33-38.
- Attiwill, P.M., Adams, M.A. 1993. Tansley Review no. 50: Nutrient cycling in forests. *New phytologist*, 124: 561-582.
- Autuori, M. 1947. Contribuição para o conhecimento da saúva (*Atta* spp.). VI - O saúveiro depois da primeira revoada (*Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908). *Arquivos do Instituto de Biologia de São Paulo*, 18: 39-70.
- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47: 151–163.
- 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.
- Bazzaz, F.A. & Fajer, E.D. 1992. Plant life in a CO₂-rich world. *Scientific American* 266: 68-74.
- Beedlow, P.A.; Tingey, D.T; Phillips, D.L.; Hogsett, W.E. & Olszyk, D.M. 2004. Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forests. *Frontiers in Ecology Environments* 2: 315-322.
- Boudot, J.P., Belhadjibrahim, A., Steinman, R., Seiglemurandi, F. 1989. Biodegradation of synthetic organo-metallic complexes of iron and aluminum with selected metal to carbon ratios. *Soil Biology & Biochemistry* 29: 499-502.
- Bucher, E.H.; Marchesini, V.; Abril, A. 2004. Herbivory by leaf-cutting ants: nutrient balance between harvested and refuse material. *Biotropica* 36: 327-332.

- Cherrett, J.M. 1989. Leaf-cutting ants, p. 473-488. *In*: Lieth, H. & Werger, M. J. A (eds.), Tropical rain forest ecosystems: biogeographical and ecological studies. Elsevier, Amsterdam.
- Cook, G.D. 1994. The fate of nutrients during fires in a tropical savanna. *Australian Journal of Ecology* 19: 359-365.
- Costa, G. S.; Gama-Rodrigues, A. C.; Cunha, G. M. 2005. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte Fluminense. *Revista Árvore* 29: 563-570.
- Coutinho, L. M. 1978. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 1: 17-23.
- Coutinho, L. M. 1984. Aspectos ecológicos da saúva no cerrado. A saúva, as queimadas e sua possível relação na ciclagem de nutrientes minerais. *Boletim de Zoologia da Universidade de São Paulo* 8: 1-9.
- Coutinho, L. M. 1992. O cerrado e a ecologia do fogo. *Ciência Hoje*, volume especial Eco-Brasil 130-138.
- Crawley M. J. 2002. *Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. John Wiley & Sons, New York.
- Crutzen P. & Andreae M. O. 1990. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 250: 1669-1678.
- Eiten G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review* 38: 201-341.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. CNPS, Brasília.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212p.
- Etheridge, D.M.; Steele, L.P.; Langenfelds, R.L.; Francey, R.J.; Barnola, J.M. & Morgan, V. I. 1996. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last

- 1000 years from air in Antarctic ice and firn. *J. Geophys. Res. Atmos.* 101: 4115-4128.
- Farji-Brener A. G. & Ghermandi L. 2004 Seedling recruitment in a semi-arid Patagonian steppe: facilitative effects of refuse dumps of leaf-cutting ants. *J. Veg. Sci.* 15, 823-830.
- Farji-Brener, A. G. & Medina, C. 2000. The importance of where to dump the refuse: seed banks and fine roots in nests of the leaf-cutting ants *Atta cephalotes* and *Atta colombica*. *Biotropica* 31:120-126.
- Farji-Brener, A.G. & Illes, A.E. 2000. Do leaf-cutting ant nests make “bottom-up” gaps in neotropical rain forests?: a critical review of the evidence *Ecology Letters* 3: 219-227.
- Farji-Brener, A.G. & Silva, J. 1995. Leaf-cutting ants and forest groves in a tropical parkland savanna of Venezuela: facilitated succession? *Journal of Tropical Ecology* 11: 651-669.
- Fowler, H.G.; Forti, L.C. & di Romagnano, L.F.T. 1990. Methods for evaluation of leaf-cutting ant harvest, p. 228-241. *In: Vander Meer, R. K; Jaffe, K. & Cedeno, A. (eds.) Applied myrmecology: a world perspective.* Westview Press, Boulder.
- Goodland, R.A & Ferri, M.G. 1979 *Ecologia do cerrado.* Itatiaia, LTD.
- Grace, J. 2004. Understanding and managing the global carbon cycle *Journal of Ecology* 92: 189-202.
- Guppy, C.N., Menzies, N.W., Moody, P.W. & Blamey, F.P.C. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 43: 189-202.
- Haines, B. 1978. Element and energy flows through colonies of the leaf-cutting ant, *Atta colombica*, in Panama *Biotropica* 10: 270-277.

- Haridasan, M.A. 1992. Observation on soil, foliar nutrients concentrations and floristic composition of cerrado "sensu stricto" and "cerradão" communities in central Brazil. In: Furley PA, Proctor J, Ratter JA, eds., Nature and dynamics of forest-savanna boundaries. London Chapman & Hall, pp. 171-184.
- Harrison, A.F; Harkness, D.D. & Bacon, P.J. 1990. The use of bomb¹⁴C for studying organic matter and N and P dynamics in a woodland soil, p. 246-358. *In*: Harrison, A.F.; Ineson, P. & Heal, O.W. (eds.) Nutrient cycling in terrestrial ecosystems: field methods, application and interpretation. Elsevier, Barking.
- Hungate, B.A, Holland, E.A., Jackson, R.B., Chapin III, F.S., Mooney, H.A. & Field, C.B. 1997. The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature*, 388: 576-579.
- Hutchings, M. J. 1988. Differential foraging for resources and structural plasticity in plants. *Trends in Ecology and Evolution* 3:200-204.
- Jonkman, J. 1977. Determination of the vegetative material intake and refuse production ratio in two species of grass-cutting ants (Hym.: Attini). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, v. 84, n. 1, p. 25-34.
- Jonkman, J. 1978. Nests of the leaf-cutting ant *Atta vollenweideri* as accelerators of succession in pastures. *Z Angewandte Entomologie* 86: 25-34.
- Judas, M.; Schaueremann, J. & Meiwes, K.J. 1997. The inoculation of *Lumbricus terrestris* L. in an acidic spruce forest after liming and its influence on soil properties, *Soil Biology & Biochemistry*, 29: 677–679.
- 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: 519-531.
- Lavelle, P. 2002 Functional domains in soils. *Ecological Research* 17: 441-450.

- Lavelle, P.; Blanchart, E.; Martin, A.; Martin, S; Spain, A.; Toutain, F.; Barois, I.; Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica* 25: 130–150.
- Lobo, P.F.S.; Barrera, D.S.; Silva, L.F. & Flexor, J.M. 1980. Carbon isotopes on the profile of characteristic soils of the south of the state of Bahia, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*,4: 79– 82.
- Lobry de Bruyn, L.A. & Conacher, A.J. 1990. The role of termites and ants in soil modification: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 28: 55–93.
- López, F., Serrano, J. M. & Acosta, F. J. 1994. Parallels between the foraging strategies of ants and plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 9:150-153.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional de plantas – princípios e aplicações; 1.Ed. POTAFOS, Piracicaba – SP
- Malhi, Y.; Meir, P. & Brown, S. 2002. Forests, carbon and global climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 360: 1567-1591.
- Moreira A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *J. Biogeog.* 27, 1021-1029.
- Moutinho, P.; Nepstad, D.C. & Davidson, E.A. 2003. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazônia. *Ecology*, 84: 1265-1276.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. and Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- Nkem, J.N.; Lobry de Bruyn, L.A.; Grant, C.D. & Hulugalle, N.R. 2000. The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiologia* 44: 609-621.
- Norby, R. 1997. Carbon cycle - Inside the black box. *Nature*, 388: 522-523.

- Norby, R.J.; Gunderson, C.A.; Wullschleger, S.D.; Oneill, E.G. & McCracken, M.K. 1992. Productivity and Compensatory Responses of Yellow-Poplar Trees in Elevated CO₂. *Nature*, 357: 322-324.
- Novais, R.F.; Smyth, T.J. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais – Viçosa-MG -1ª edição; UFV, DPS.
- Pereira, R. de C. & T. M. C. Della Lucia. 1998. Estimativa populacional em ninhos de *Acromyrmex subterraneus subterraneus* Forel, 1893 (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Ceres*, 45: 573–578.
- Perfecto, I. & Vandermeer, J. 1993. Distribution and Turnover Rate of a Population of *Atta cephalotes* in a Tropical Rain Forest in Costa Rica. *Biotropica*, 25: 316-321.
- Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Higuchi, N. *et al.* 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science*, 282: 439-442.
- Radho-Toly S., Majer J. D. & Yates C. 2001. Impact of fire on leaf nutrients, arthropod fauna and herbivory of native and exotic eucalypts in Kings Park, Perth, Western Australia. *Aust. Ecol.* 26, 500-506.
- Ribeiro J. F. & Walter B. M. T. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: *Cerrado ambiente e flora.* (eds. S. M. Sano & S. P. Almeida) pp. 89-168. EMBRAPA, Planaltina.
- Ritchey K. D., Souza D. M. J., Lobato E. & Correa O. 1980. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savanna oxisol. *Agron. J.* 72, 40-44.
- Robertson, K.; Loza-Balbuena, I & Ford-Robertson, J. 2004. Monitoring and economic factors affecting the economic viability of afforestation for carbon sequestration projects. *Environmental Science & Policy* 7: 465–475.

- Sato, M. N. & Miranda, H. S. 1996. Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado sensu stricto submetidos a diferentes regimes de queima. Pp. 102-111. In: Miranda, H. S., Saito, C. H. & Dias, B. F. de S. (eds.). Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Schoederer J. H. & Howse P. E. 1998. Do trees benefit from nutrient-rich patches created by leaf-cutting ants? *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 33: 11-115.
- Seneviratne, G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biology and Fertility of Soils* 31: 60-64.
- Seneviratne, G. 2003. Global warming and terrestrial carbon sequestration. *Journal of Bioscience* 28: 653-655.
- Silva, V. P.; L. C. Forti & Z. G. Cardoso. 1981. Dinâmica populacional e caracterização dos ninhos de *Acromyrmex coronatus* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 25: 87-93.
- Sousa-Souto, L.; Souza, D. J. 2006. Queen influence on workers behavior of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Forel, 1908). *Brazilian Journal of Biology*, 66: 503-508.
- Sternberg, L. S. L., Pinzon, M.C., Moreira, M. Z., Moutinho, P., Rojas, E. I & Herre, E. A. 2007. Plants use macronutrients accumulated in leaf-cutting ant nests. *Proceedings of the Royal Society of London* 274: 315-321.
- UNFCCC, 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC/CP/1997/L.7/Add. 1).

- Van de Vijver C. A. D. M., Poot, P. & Prins, H. H. T. 1999. Causes of increased nutrient concentrations in post-fire regrowth in an East African savanna. *Plant and Soil*, 214: 173-185.
- Van Soest, P. J. & Robertson, J. B. 1980. Systems of analysis for evaluating fibrous feeds. In: PIGDEN, W. J.; BALCH, C. C. & GRAHAM, M. (eds.) *Standardization of Analytical Methodology for Feeds*, Ottawa, International Development Center and International Union of Nutritional Sciences, pp. 49–60.
- Verchot, L.V.; Moutinho, P.R.; Davidson, E.A. 2003. Leaf-cutting ant (*Atta sexdens*) and nutrient cycling: deep soil inorganic nitrogen stocks, mineralization, and nitrification in Eastern Amazonia. *Soil Biol. Biochem.* 35: 1219-1222.
- Volksweiss, S.; Rajj, B. Van. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: Ferri, M. G., (Coord.) *Simpósio Sobre o Cerrado: Bases para Utilização Agropecuária*, 4., 1977, Belo Horizonte. *Anais...* São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. p. 317-332.
- Watanabe, I.S. & Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soils. *Soil Sci. Soc. Proc.* 29: 677-678.
- Weber, N.A. 1972. Gardening ants: the Attines. *Memoirs of the American Philosophical Society* 90: 1-146.
- Wolters, V. 2000. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils* 31: 1-19.
- Zanetti, R.; Zanuncio, J. C.; Mayhé-Nunes, A. J.; Medeiros, A. G. B.; Souza-Silva, A. 2003. Combate sistemático de formigas-cortadeiras com iscas granuladas, em eucaliptais com cultivo mínimo. *Revista Árvore*, 27: 387-392.