


Universidade de Brasília
Instituto de Biologia
Departamento de Ecologia

EFETO DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES AO SOLO
SOBRE PLANTAS RASTEIRAS DE UM CERRADO
STRICTO SENSU

GUSTAVO LUDEWANN

Brasília
2001



Universidade de Brasília
Instituto de Biologia
Departamento de Ecologia

**EFEITO DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES AO SOLO
SOBRE PLANTAS RASTEIRAS DE UM CERRADO
*STRICTO SENSU***

GUSTAVO LUEDEMANN

**Dissertação apresentada ao
Departamento de Ecologia da
Universidade de Brasília, como
requisito parcial para a obtenção do
grau de Mestre em Ecologia.**

Brasília – 2001

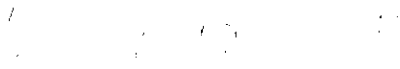
Gustavo Luedemann

**EFEITO DA ADIÇÃO DE NUTRIENTES AO SOLO SOBRE PLANTAS
RASTEIRAS DE UM CERRADO *SENSU STRICTO***

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia pelo Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia da Universidade de Brasília – UnB

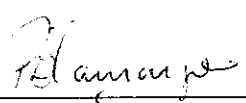
Banca examinadora:

Orientadora:



Prof.^a Mercedes Bustamante
Departamento de Ecologia, IB - UnB

Prof. Carlos Augusto Klink
Departamento de Ecologia, IB - UnB



Prof. Plínio Camargo
CENA - USP

Brasília, 29 de março de 2001

À memória de
Ellen Fortlage Lüdemann

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do *Interamerican Institute for Global Changes Research* (IAI).

A prof^a Dr^a Mercedes Bustamante foi excelente orientadora, colaborando com seu vasto conhecimento, didática e paciência infinita, acreditem, não é uma frase de praxe! Minha admiração por ela, que já existia desde o congresso de ecologia em 96, cresceu, e muito, durante estes dois anos.

Sem a ajuda de Laura Muniz, do 'brother' Pedro e do André este trabalho não teria sido realizado.

Agradeço à Direção e a todo Pessoal da RECOR pela oportunidade e pelo auxílio.

Herbert 'Air-bag' e Fabiana resolveram todos os pepinos burocráticos com um bom humor ímpar.

Aos Drs. Jean Philippe Boubli e Carlos Augusto Klink por terem aprofundado o meu interesse pela ecologia. Ao último ainda por ter me introduzido ao 'mundo' do estrato rasteiro do Cerrado, ainda durante a graduação, pelo empréstimo de equipamentos e, enfim, por ter aceitado participar da banca de avaliação. Pelo último motivo devo minha gratidão também ao Dr. Plínio Camargo e Dr^a Heloisa S. Miranda.

À Débora Byrne, não apenas pelo empréstimo de equipamento, mas também por ter ido ao campo para usá-lo comigo.

Aos Drs. Guillermo Goldstein, Frederick Meinzer e Augusto Franco pela colaboração.

À Inês Zatz pelas críticas.

Aos colegas do 'projeto de fertilização do IAI', do curso de pós-graduação e do laboratório pelo companheirismo e ajuda esporádica desde sugestões até ajuda no laboratório (Laurinha, Lili e Paula) ou ida ao campo (Mari). Em especial para Cata; Xan, Júlio, Gina, Laurinha, Sandra, Paula, Mari, André, Pedro, Laura, Betão, Dulce, Mozzer, Cegonha, Dayani e todos que estes dois últimos representaram oficialmente perante o departamento!

Às futuras biólogas Patrícia e Cristiane pela ajuda na reta final.

E, principalmente, minha família propiciou e facilitou imensamente a minha formação e foi extremamente compreensiva e motivadora durante este mestrado.

Em especial a minha mãe e a Maria Helena, por terem suportado guardar mato em suas geladeiras por vários meses!

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. HIPÓTESES.....	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
3.1. Área de estudos.....	3
3.2. Tratamentos de adição de nutrientes.....	4
3.3. Biomassa aérea.....	6
3.4. Biomassa subterrânea.....	7
3.5. Análise química do solo e da biomassa aérea.....	7
3.6. Condutância Estomática.....	9
3.7. Dados pluviométricos.....	9
3.8. Área foliar específica.....	10
3.9. Análise estatística.....	10
4. RESULTADOS.....	11
4.1. Biomassa Aérea do estrato rasteiro.....	11
4.1.1. Biomassa total.....	11
4.1.2. Biomassa viva.....	15
4.2 Razão folha / parte aérea.....	18
4.3. Área foliar específica.....	19
4.4. Biomassa de raízes.....	22
4.5. Análise química.....	23
4.5.1. Concentração e estoque de N no estrato rasteiro.....	23
4.5.2. Concentração e estoque de P no estrato rasteiro.....	26
4.5.3. Concentração e estoque de Ca no estrato rasteiro.....	29
4.5.4. Concentração e estoque de Mg no estrato rasteiro.....	31
4.5.5. Concentração e estoque de K no estrato rasteiro.....	33
4.5.6. Concentração de Al no estrato rasteiro.....	34
4.5.7. Concentração de carbono orgânico e razões C:N e C:P.....	36
4.6. Condutância estomática.....	38
4.7. Invasão por espécie alienígena.....	43
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
6. CONCLUSÕES.....	48
7. BIBLIOGRAFIA.....	49

Resumo

As respostas de grupos de plantas rasteiras, dicotiledôneas, gramínea C3 (*Echinolaena inflexa*), gramíneas C4 e outras monocotiledôneas, de um cerrado *sensu stricto* submetido à adição dos nutrientes N, P, Ca em separado e N e P combinados foram acompanhadas em termos de produção de biomassa aérea, concentração de nutrientes nos tecidos, condutância estomática, área foliar específica, padrões de investimento em folha / talo e biomassa de raízes. As fertilizações ocorreram entre outubro de 1998 e outubro de 1999, em parcelas de 15×15 m, na Reserva Ecológica do IBGE, próxima a Brasília - DF. A biomassa aérea foi coletada entre julho de 1999 a março de 2000. Curvas diárias de condutância estomática foram medidas em duas espécies, *E. inflexa* (Poaceae) e *Myrcia torta* (Mirtaceae), no final do período de chuvas (abril / maio de 2000). A biomassa aérea como um todo aumentou significativamente nos tratamentos N+P e P. As maiores diferenças tanto em termos de produção de biomassa quanto de uso da água foram encontradas no tratamento N+P, onde, além da maior biomassa aérea, foram encontrados picos de condutância estomática mais elevados que os picos de condutância encontrados no controle. A espécie de gramínea C3 *Echinolaena inflexa* obteve a maior resposta em termos de biomassa viva e total neste tratamento. Esta espécie teve seu crescimento limitado por N, e por P quando N não era limitante. A concentração de nutrientes na biomassa refletiu a maior disponibilidade destes nos tratamentos e o estoque de nutrientes aumentou com o aumento da biomassa e concentração na biomassa. As gramíneas C4 nativas obtiveram valores mais baixos de biomassa viva sob os tratamentos N, P e N+P, sendo proposto que sejam menos competitivas em situações de maior disponibilidade de nutrientes. A espécie de gramínea C4 invasora *Melinis minutiflora* colonizou 3 de 4 parcelas de N+P, além de 1 parcela de P e 1 de Ca, estando ausente nas parcelas controle e entre as parcelas.

Abstract

The savannas of Central Brazil (Cerrado) forms the second most extensive plant formation in tropical South America with two million km² of area. Large areas of Cerrado have been converted to pastures and grassland by frequent burning or clearing and deeply rooted woody species are replaced by shallower rooted grasses and herbaceous plants. The magnitude and consequences of changes in the relative abundance of plant functional groups on ecosystem water, nutrient and carbon cycling must be better understood to predict effects of climatic changes and to develop sustainable land management practices for the Brazilian Cerrado. The response of plant groups (Dicots, C₄ grasses and one C₃ grass – *Echinolaena inflexa*) from the herbaceous layer of a cerrado *sensu stricto* vegetation to the addition of N (100 kg/ha/year), P (100 kg/ha/year), Ca (4000 kg/ha/year) apart and N and P combined (100 + 100 kg/ha/year) was determined in terms of aerial biomass production, nutrient concentration in the tissues, stomatal conductance, Specific Leaf Area (SLA), leaf / shoot ratio and root biomass. The study was conducted at the Ecological Reserve of the IBGE, 35 km south of Brasília. Plots of 15 x 15 m were fertilized between October 1998 and October 1999. Daily curves of stomatal conductance data were collected for the C₃ grass and for *Myrcia torta* (Myrtaceae) at the end of the rainy season (April/March 2000). The aerial biomass was collected between July 1999 and March 2000 and belowground biomass samples were collected in December 2000. There was a significant increase of the total aerial biomass in the N+P and P treatments. The greatest differences in terms of biomass production as well as in water use patterns were in the N+P treatment, where there was not just the greatest biomass, but also higher peaks of stomatal conductance than that measured in the control plots. The C₃ grass, *Echinolaena inflexa*, showed the greatest response to these treatment in terms of living and total biomass. The growth of this species was limited by N, and by P, but just when N supply was not limiting. The concentration of nutrients in the aerial biomass reflected the higher nutrient availability in the fertilized plots and the stocks of nutrients in the biomass increased with the increments in concentrations and biomass. There was no significant difference between the treatments in relation to the belowground biomass. The native C₄ grasses showed lower biomass values under the N, P and N+P treatments, being proposed that they are less competitive under high nutrient availability conditions. One alien invasive C₄ grass species, *Melinis minutiflora*, was found colonizing 3 of 4 N+P plots, and also 1 Ca and P plot, being absent in the control plots as well as in the area in-between the experimental plots. The effects observed in the species and functional composition in response to the nutrient inputs may influence ecosystem functioning (fire behavior, transpiration, fluxes of energy and mass) and imply in biodiversity losses.

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1.	Mapa esquemático das parcelas de fertilização.....	5
Figura 2.	Detalhe de uma parcela controle.....	6
Figura 3.	Variações na biomassa viva e precipitação no período estudado	12
Figura 4.	Variações na biomassa total e precipitação no período estudado	12
Figura 5.	Comparação da biomassa viva de dicotiledôneas e monocotiledôneas submetidas à fertilização.....	17
Figura 6.	Comparação da biomassa viva de gramíneas C ₃ e gramíneas C ₄ submetidas à fertilização.....	17
Figura 7.	Área foliar específica de <i>Myrcia torta</i> e <i>Echinolaena inflexa</i> nos vários tratamentos.....	20
Figura 8.	Concentração de N nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C ₃ e gramíneas C ₄ nos tratamentos de fertilização.....	24
Figura 9.	Concentração de P nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C ₃ e gramíneas C ₄ nos tratamentos de fertilização.....	27
Figura 10.	Concentração de Ca nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C ₃ e gramíneas C ₄ nos tratamentos de fertilização.....	30
Figura 11.	Concentração de Mg nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C ₃ e gramíneas C ₄ nos tratamentos de fertilização.....	32
Figura 12.	Concentração de K nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C ₃ e gramíneas C ₄ nos tratamentos de fertilização.....	32
Figura 13.	Concentração de Alumínio nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C ₃ e gramíneas C ₄ nos tratamentos de fertilização.....	35
Figura 14.	Condutância estomática de <i>E. inflexa</i> nos diversos tratamentos de fertilização.....	39
Figura 15.	Condutância estomática de <i>Myrcia torta</i> nos diversos tratamentos de fertilização.....	40
Tabela 1.	Tratamentos de fertilização.....	5
Tabela 2.	Comparação de estoques de nutrientes no estrato rasteiro de um cerrado submetido a tratamentos de fertilização.....	26
Tabela 3.	Estoques de nutrientes em um cerrado stricto sensu submetido a tratamentos de fertilização.....	36
Tabela 4.	Razões C:P e C:N para Dicotiledôneas, Gramíneas C ₃ e C ₄ submetidos a tratamento de fertilização.	37

1. Introdução

As savanas são ecossistemas onde plantas com duas formas de vida contrastantes, árvores e herbáceas, co-dominam, e onde duas estações, seca e chuvosa, se alternam. As savanas contêm uma grande e crescente proporção da população humana e a maior parte da área agricultável e do rebanho (Scholes & Archer, 1997). As savanas do Brasil Central (Cerrado) constituem a segunda formação vegetal na América do Sul, com 2 milhões de km² de área (Dias, 1992; Ratter et al., 1997) e detém a maior biodiversidade de plantas e animais entre todas as savanas do mundo (Klink et al., 1993). O estrato rasteiro do Cerrado abriga a maior riqueza de plantas vasculares deste bioma, podendo chegar a 4000 espécies (Ratter et al., 1997), e a proporção árvores:rasteiras é de 1:3 em recente lista de espécies catalogadas (Mendonça et al., 1998). Mudanças na composição destas duas principais formas de vida características de savanas são esperadas devido a mudanças globais e do uso da terra.

Ecossistemas savânicos são controlados principalmente pelas interações entre a disponibilidade de água e nutrientes, além de fatores como fogo e herbivoria. Desta forma, é essencial o entendimento da dinâmica de nutrientes e água como uma função da situação atual e das modificações ambientais esperadas. A limitação de comunidades do Cerrado por elementos minerais pode ser avaliada através de experimentos de manipulação que envolvam a adição de nutrientes. Em particular N, P e Ca, aparecem como prováveis elementos limitantes, de acordo com trabalhos anteriores (Furley & Ratter, 1988; Felipe e Dale, 1990, Marrs et al. 1991).

As atividades humanas alteram a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas terrestres. Por um lado, o corte de madeira, a exposição do solo em pastagens degradadas e outras

circunstâncias antrópicas propiciam a perda de nutrientes via exportação, erosão laminar e lixiviação; e, por outro lado, a indústria, os centros urbanos e a agricultura com insumos tendem a eutrofizar os ambientes terrestres e aquáticos. Por exemplo, com relação ao ciclo de nitrogênio (N), a quantidade deste elemento fixado foi duplicada devido à fixação industrial, queima de combustíveis fósseis e o cultivo de espécies vegetais fixadoras (Matson et al., 1999). Embora este fenômeno seja localizado, poucas áreas permanecem sem impactos. A deposição de cinzas decorrentes de queimadas de lavouras e pastagens, combustões de outra natureza e escoamento superficial de fertilizantes agrícolas podem afetar até mesmo áreas protegidas.

O objetivo do estudo foi verificar diferenças na produção primária entre grupos de plantas do estrato rasteiro (dicotiledôneas, gramíneas C_4 , gramínea C_3 e monocotiledôneas não gramíneas) quando nutrientes (nitrogênio, fósforo, cálcio e nitrogênio e fósforo combinados) são adicionados a este ecossistema e os prováveis mecanismos envolvidos nesta mudança (diferenças nas razões entre biomassa predominantemente fotossintética e biomassa com função predominante de sustentação e reprodução, além de diferenças no controle estomático das folhas).

2. Hipóteses

2.1. A produtividade das espécies rasteiras do Cerrado é limitada por N, P e Ca.

Será testada a maior produtividade deste estrato com o aumento destes nutrientes no sistema de forma isolada ou com a combinação de N + P.

2.1.1. A concentração de nutrientes nos tecidos aumenta com o incremento de nutrientes no solo

2.1.2. A biomassa vegetal aumenta com o incremento de nutrientes no solo.

2.2. A adição de nutrientes causa mudança na composição do estrato rasteiro. É esperado que grupos distintos tenham respostas distintas à maior oferta de nutrientes antes limitantes.

2.2.1. Dicotiledôneas e monocotiledôneas respondem de forma diferente à adição de nutrientes.

2.2.2. Gramíneas C_4 e a gramínea C_3 respondem de forma diferente à adição de nutrientes.

2.2.3. Monocotiledôneas que não pertencem à família Graminae (Poacea) mudam a sua frequência sob as diversas condições de trofismo.

2.3. Com a adição de nutrientes, haverá maior competição por água nos meses de seca. Corroborada a primeira hipótese, espera-se que com a maior demanda de água decorrente da maior produtividade, haverá um esgotamento mais veloz deste recurso nas camadas menos profundas do solo, que será perceptível no controle da transpiração foliar ou senescência foliar.

3. Materiais e métodos

3.1. Área de estudo

O presente estudo foi realizado na Reserva do Córrego do Roncador (RECOR), de propriedade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A RECOR está situada a 35 km ao sul do centro de Brasília - Distrito Federal - DF, no km 0 da BR 251,

estrada de acesso à cidade de Unai - MG, nas coordenadas geográficas de 15° 56' S e 47° 53' W. Faz limites a nordeste e noroeste com a Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília, a sudeste com a Fazenda Água Limpa - área de pesquisa e experimentação da Universidade de Brasília - a sudeste com a BR-251. Possui uma área de 1350 ha. A RECOR é parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Gama-Cabeça de Veado que perfaz, incluindo a Reserva, um total de 10.000 ha de área protegida contínua. Além disto, a RECOR é uma das Áreas Núcleo da Reserva da Biosfera do Cerrado, criada em 1993, pela UNESCO no Distrito Federal.

As parcelas demarcadas para este trabalho encontram-se próximas à divisa da reserva do Jardim Botânico de Brasília (Figura 1).

3.2. Tratamentos de adição de nutrientes

As parcelas experimentais foram fertilizadas com nitrogênio, fósforo, cálcio e a combinação de nitrogênio com fósforo (Tabela 1). Cada tratamento foi repetido em 4 parcelas de 15 x 15 m que distavam pelo menos 10 m entre si. Os fertilizantes foram lançados a mão livre, sobre a serrapilheira, em quantidades iguais em subparcelas de 5 x 5 m. As fertilizações ocorreram em outubro de 1998, abril de 1999, outubro de 1999 e março de 2000, sendo as calagens (tratamento Ca) realizadas uma vez por ano no início das chuvas, e a aplicação de fertilizantes nos tratamentos N, P, N+P dividida em duas aplicações ao ano. A disposição das parcelas e sua localização podem ser vistas na Figura 1.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos de fertilização.

Tratamento	Produto (fertilizante usado)	Quantidade do elemento adicionado
Nitrogênio (N)	Sulfato de amônio (NH ₄)SO ₄	100 kg×ha ⁻¹ de N ao ano.
Fósforo (P)	Superfosfato simples 20% Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + CaSO ₄ .2H ₂ O	100 kg×há ⁻¹ de P ao ano.
Cálcio (C)	60 % calcáreo dolomítico [óxido de cálcio (28,8%) + óxido de magnésio (12,1%)] 40% gesso agrícola CaSO ₄	4000 kg×ha ⁻¹ de Ca ao ano.
Nitrogênio e Fósforo (N+P)	Sulfato de amônio + Superfosfato simples 20%	100 kg×ha ⁻¹ de N ao ano. 100 kg×ha ⁻¹ de P ao ano.
Controle	Sem fertilização	sem adição de nutrientes

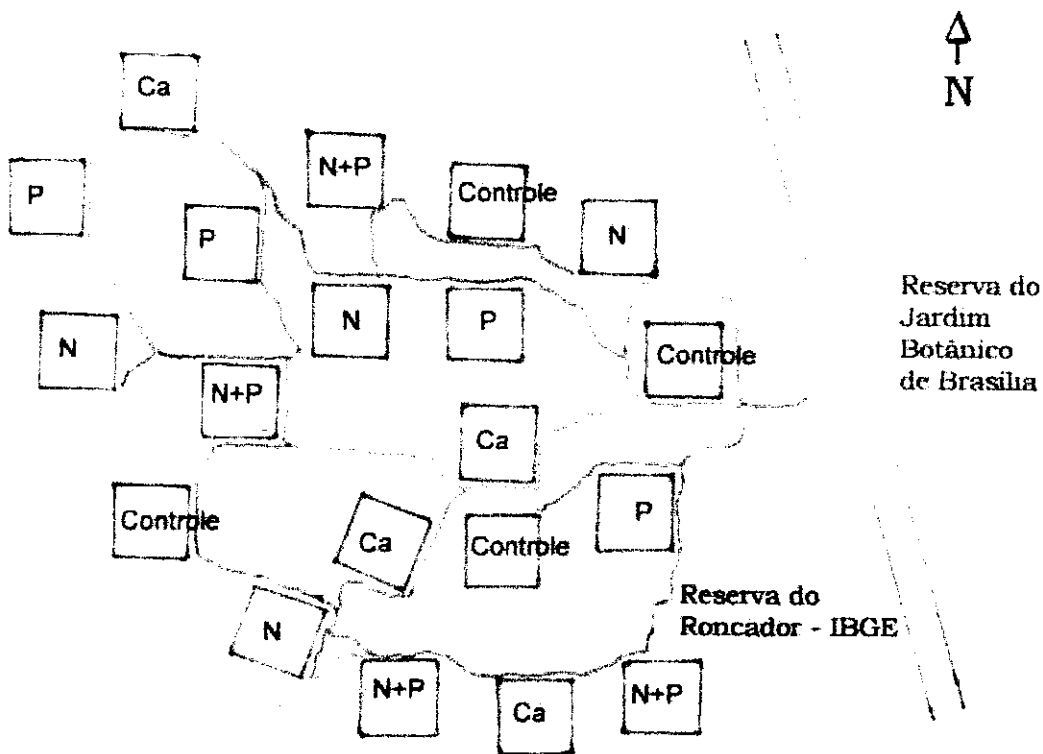


Figura 1. Mapa esquemático das parcelas fertilizadas.

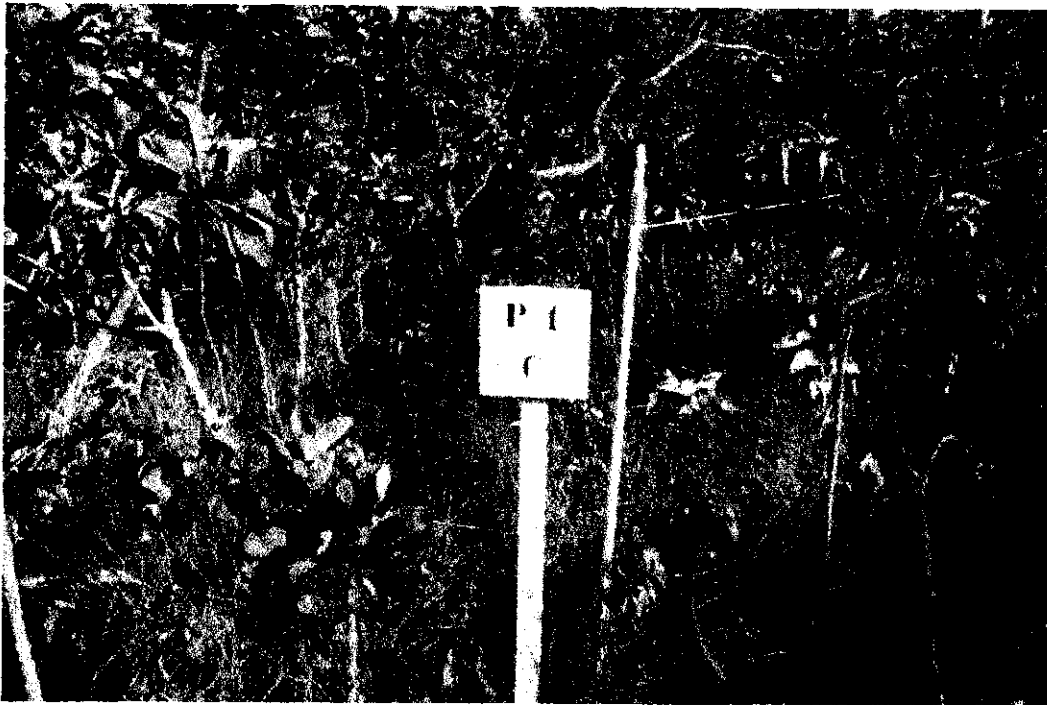


Figura 2. Detalhe da vegetação estudada em uma parcela controle

3.3. Biomassa aérea

Para a quantificação da biomassa aérea, foram utilizados dois quadrados confeccionados com tubos de PVC de dimensões 25 x 25 cm (área de 125 cm²). Considerou-se como a biomassa aérea do estrato rasteiro, todo material herbáceo e todos arbustos e semi-arbustos que possuíam menos de 1,20 m de altura e menos de 2,5 cm de diâmetro. Devido ao pequeno tamanho dos quadrados utilizados na amostragem, esta decisão raramente teve que ser tomada. Esta dimensão de quadrado foi definida para minimizar o impacto das coletas dentro de cada parcela de fertilização e controle.

Toda biomassa contida no interior dos quadrados e sua projeção até o chão foi coletada e separada em laboratório de acordo com o seguinte tipo de plantas: gramíneas C₄ (as mais freqüentes foram gramíneas do gênero *Axonopus*, *Trachypogon* e *Schizachyrium*), gramínea

C₃ *Echinochloa inflexa*, dicotiledôneas e outras monocotiledôneas, a biomassa foi separada em viva e seca. Dentro dos grupos de biomassa viva foram separadas, ainda, as folhas. O material triado foi, então, seco em estufa a 70° C por 48 horas e depois pesado em balança com precisão de 0,001 g. Para análise dos resultados utilizou-se a média de dois quadrados (amostra composta) como a amostra da parcela, em um total de n = 4 (4 parcelas por tratamento). As coletas foram realizadas entre os meses de julho de 1999 a março de 2000.

3.4. Biomassa subterrânea

Em dezembro de 2000 foram coletadas, com trado, amostras de solo e raízes de cada uma das parcelas de fertilização (1 ponto por parcela). Em cada ponto coletou-se amostra nas seguintes profundidades: 0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40 a 50 cm. De cada amostra retirou-se uma subamostra, cujo peso foi anotado fresco e, posteriormente, seco. As raízes foram então lavadas e separadas em categorias >2 mm de diâmetro (raízes grossas) e <2 mm (raízes finas). Após secagem em estufa a 60° C, foram pesadas em balança de precisão de 0,001 g.

3.5. Análises químicas de solo e biomassa aérea

Em março de 2000, amostras de biomassa aérea dos grupos mais representativos (gramíneas C4, gramínea C3 e dicotiledôneas) foram coletadas para análise química dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg além de Al e matéria orgânica. De cada parcela coletou-se duas subamostras de cada grupo.

A biomassa foi lavada em água destilada e seca em estufa para posterior moagem. O material moído foi analisado pelo Laboratório de Tecido Vegetal do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (Embrapa-Cerrados) como segue: o material sofreu digestão com uma mistura de ácido perclórico e água oxigenada, para determinação dos macroelementos N, P, K, S, Ca, Mg e Al. A concentração de N foi determinada através do método de Nessler (Oliveira, 1986), e carbono orgânico (C total) pelo método volumétrico, através do bicromato de potássio (Walkley-Black). Estes valores foram expressos por matéria orgânica e foram convertidos para carbono orgânico pela razão 1,8.

As amostras de solo para determinação da umidade e análises químicas foram coletadas por Garofalo (2001) antes da aplicação de nutrientes (setembro de 1998) e após um ano de fertilização (maio de 1999) na superfície (0-5 cm) e até 50 cm de profundidade, nos intervalos de 5-10 cm, 10-20 cm e 40-50 cm. Foram feitas amostras compostas de três subamostras por parcela, totalizando quatro amostras por tratamento. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química Analítica da Embrapa-Cerrados. Para estas análises, as amostras foram previamente secas à temperatura ambiente e destorroadas em peneiras com malha de 2 mm. Os valores de pH foram obtidos potenciométricamente com solo seco em solução de CaCl_2 0,01 M e KCl 1 N respectivamente, na proporção 1: 2,5 (Embrapa 1998). Os teores de Al, Ca e Mg trocáveis no solo foram determinados pelo método de extração com KCl 1N: a concentração de Al foi determinada através de titulação com azul de bromotimol; a concentração de Ca e Mg foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica após reação com óxido de lantânio 0,2%. P e K trocáveis foram determinados por extração com a solução Mehlich 1. A determinação de K foi feita em fotômetro de chama e para P utilizou-se o método do amônio-molibdato. O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico. Uma sonda de TDR (Time-Domain

Reflectometry – Soil Moisture Equipament Corp.) com sensores de 0 a 15 cm, 15 a 30 cm e a cada 30 cm até a profundidade de 120cm foi instalada em uma parcela de cada tratamento (sem repetições por tratamento) para comparação do conteúdo volumétrico de água no solo.

3.6. Condutância estomática

Foi utilizado o porômetro AP4, Delta-T Devices para se comparar a condutância estomática de uma espécie de gramínea e um arbusto sob os diferentes tratamentos. A gramínea utilizada foi o capim flechinha (*Echinolaena inflexa*), dominante nesta área de cerrado e o arbusto *Myrcia torta* (Myrtaceae), de pequeno porte e abundante nas parcelas.

Foram utilizadas para análise apenas as curvas obtidas em dias ensolarados e sem nuvens, sendo duas curvas diárias, uma para cada espécie durante a estação seca (27 de abril de 2000 com menor umidade relativa de 40% e maior radiação solar de 2240 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ para *E. inflexa* e 5 de maio do mesmo ano, menor umidade relativa de 45% e maior radiação solar de 2280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ para *M. torta*). Em ambas espécies, utilizou-se apenas medidas de condutância do lado abaxial.

3.7. Dados Pluviométricos

Os dados de precipitação utilizados foram obtidos na estação climatológica da Reserva Ecológica do Roncador, medida diariamente.

3.8. Área Foliar Específica

A área foliar específica (área foliar dividida pela sua massa seca) foi determinada para as duas espécies utilizadas nas medidas de condutância estomática (*E. inflexa* e *M. torta*). Uma folha de cada indivíduo, num total de três, expostas ao sol, da mesma espécie, foram coletadas em cada parcela de fertilização e escaneadas juntas (amostra composta) imediatamente no Area Meter AM100, ADC – BioScientific, ensacadas e levadas ao laboratório para obtenção de massa seca (estufa a 70°C / 48 horas e balança com 0,001g de precisão). Estas medidas foram realizadas em 1º de dezembro de 2000.

3.9. Análise estatística

Para todas as análises, foi definido *a priori* $\alpha = 0,10$. As análises foram efetuadas no programa SPSS versão 10.0.

Nos testes de biomassa aérea total do estrato rasteiro, biomassa aérea viva, comparação das biomassas de monocotiledôneas e dicotiledôneas e biomassa de raízes transformou-se os dados de peso seco por \log_{10} [valores de peso seco], para se obter uma distribuição ajustada mais próxima da distribuição normal (utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para se comparar a aproximação). Na comparação do peso seco da biomassa viva de gramíneas C_4 e C_3 , optou-se por utilizar os valores de raiz quadrada do peso seco, que deram valores mais próximos da distribuição normal. Para testar a diferença entre tratamentos ao longo dos meses amostrados da biomassa total, assim como da biomassa verde e das comparações entre grupos (dicotiledôneas e monocotiledôneas; gramíneas C_4 e C_3) utilizou-se análise de variância (ANOVA) seguida do teste de comparações múltiplas de Tukey.

O grupo de monocotiledôneas não pertencentes à família Graminae (Poaceae), composta principalmente por ciperáceas, bromélias e pequenas palmeiras, por sua ausência na maior parte das amostras, e pela alta variação na biomassa presente em cada quadrado foi tratado pela sua ausência ou presença nas amostras de cada tratamento. Utilizou-se o teste do χ^2 (qui-quadrado) com frequência esperada igual à frequência de ausência : presença de monocotiledôneas não pertencentes à família Poaceae no controle.

Os dados de concentração de nutrientes nos tecidos foram ajustados com logaritmo na base dez ou raiz quadrada, quando necessário, e aplicou-se ANOVA seguida de teste de Tukey, nos casos de rejeição da hipótese de igualdade.

Os dados da razão folha / parte aérea, que podem variar entre 0 e 1, e por isto não possuem distribuição normal, foram transformados para arco seno da raiz quadrada dos valores para obter dados com distribuição aproximadamente normal (Zar, 1999). Aplicou-se então análise de variância seguida do mesmo teste de comparações múltiplas citado acima.

4. Resultados

4.1. Biomassa Aérea do Estrato Rasteiro

4.1.1. Biomassa Total

A biomassa do estrato rasteiro foi maior em fevereiro e março de 2000, final da estação chuvosa. Os valores de biomassa total nos tratamentos fósforo (P) e nitrogênio combinado com fósforo (N+P) foram significativamente mais elevados que os obtidos no controle (valores mais altos foram P = $588,9 \pm 166,7 \text{ g/m}^2$, em fevereiro de 2000, para N+P = 776,2

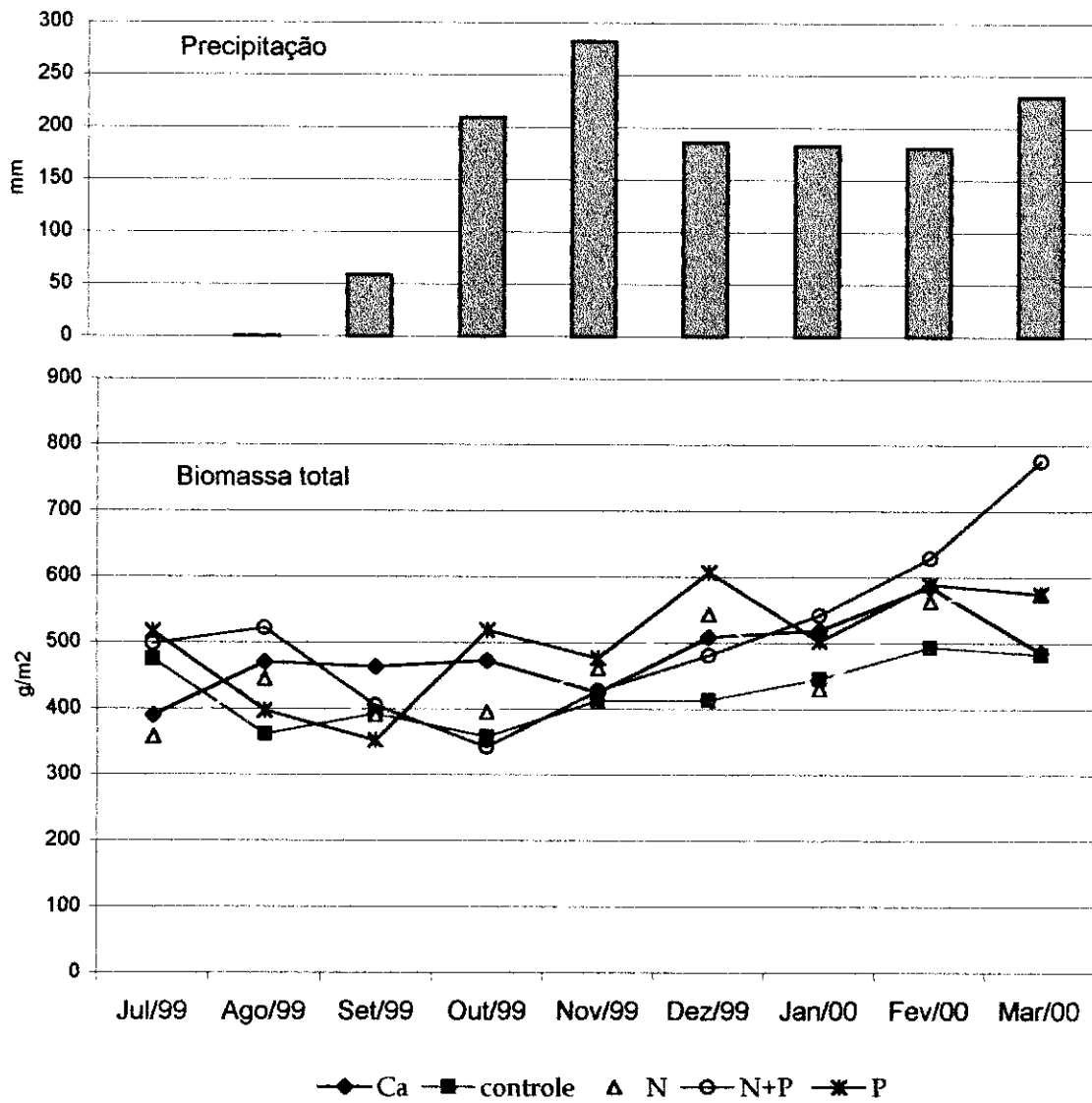


Figura 3. Variação da biomassa total do estrato rasteiro e da precipitação mensal ao longo do período estudado.

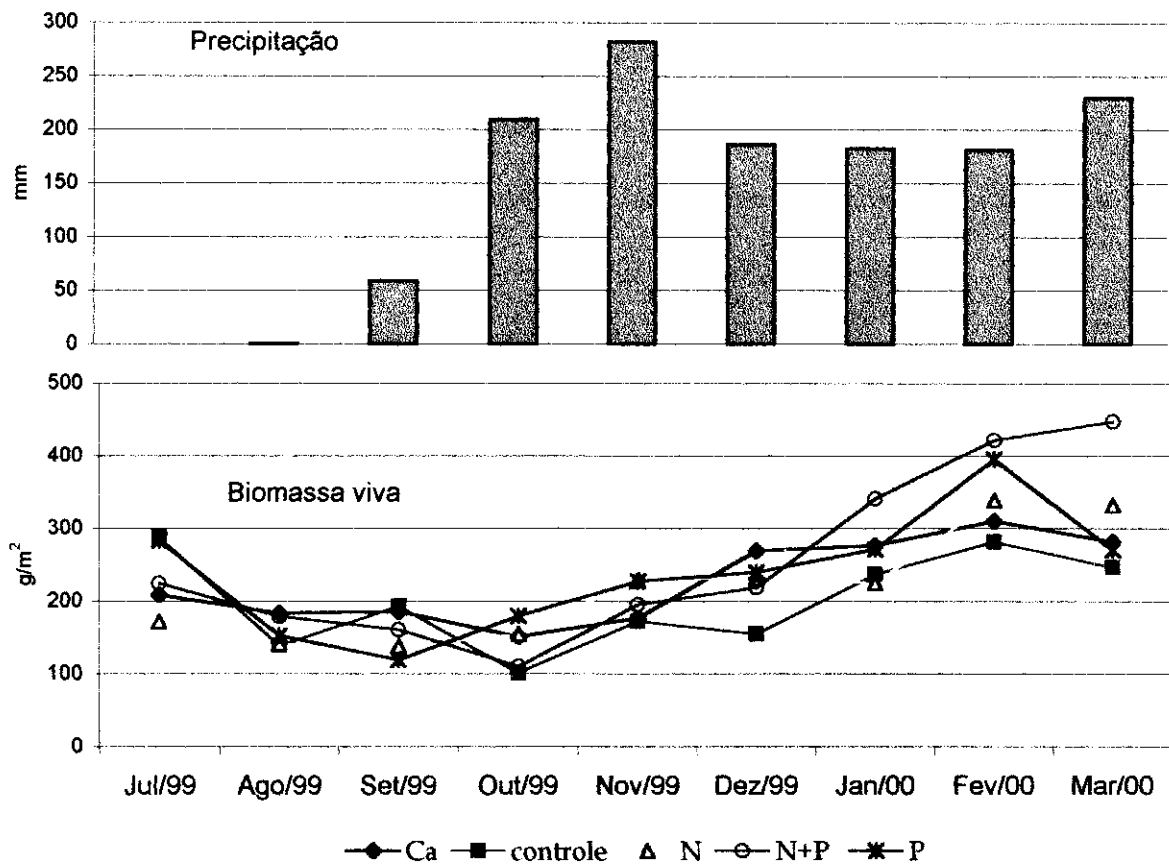


Figura 4. Variação da biomassa viva do estrato rasteiro e da precipitação mensal ao longo do período estudado.

$\pm 183,7 \text{ g/m}^2$, em março e controle = $482,6 \pm 106,6 \text{ g/m}^2$, também em março, Figura 3). Nos tratamentos N e Ca obteve-se valores intermediários, que não diferiram significativamente nem do controle e nem de P ou N+P. Proporcionalmente, a biomassa total (seca + viva) de dicotiledôneas rasteiras teve seu máximo em fevereiro sob o tratamento P, com 62,3% da biomassa, o restante sendo 28,3% biomassa da espécie de gramínea C₃ (*E. inflexa*), 9,1% espécies de gramíneas C₄ e menos de 0,3% de monocotiledôneas que não pertencem à família Poaceae. Os maiores valores para a gramínea C₃ foram encontrados em fevereiro no tratamento N + P, 58,9%, o restante sendo 32,9% dicotiledôneas, 6,9% gramíneas C₄ e 0,3% de outras monocotiledôneas. O maior valor percentual de gramíneas C₄ foi atingido em fevereiro, no controle, 28,9%, para 47,3% de dicotiledôneas e 23,2% da gramínea C₃. O teste de frequência do grupo de monocotiledôneas, excluindo-se, as gramíneas variou apenas no tratamento N, onde a frequência deste grupo teve um aumento significativo (de 14:36 para 22:36). Os demais tratamentos obtiveram frequências de plantas deste grupo semelhantes ao controle.

Tanto quantitativamente como proporcionalmente, o tratamento N + P favoreceu a gramínea C₃, uma vez que a maior biomassa foi encontrada no mês de fevereiro sob este tratamento. Nesta condição esta espécie mostrou maior competitividade em termos de percentuais de biomassa enquanto a biomassa de dicotiledôneas e gramíneas C₄ diminuiu quantitativamente, em média, e percentualmente em relação ao controle.

O metabolismo C₄ é uma adaptação às condições dos trópicos, especialmente devido à sua alta eficiência no uso do nitrogênio (EUN) e consequente eficiência no uso da água (Ehleringer & Monson, 1993), uma vez que os solos que predominam nestas regiões são distróficos (Ricklefs, 1996; Brady & Weil, 1998), como é o caso do Cerrado (Haridasan,

1994; Reatto et. al, 1998). Com a maior disponibilidade de amônia e nitrato, pode haver um desequilíbrio ao longo do tempo na competição entre as dicotiledôneas e a gramínea C_3 em detrimento das espécies C_4 , uma vez que o metabolismo das últimas tem um custo energético mais elevado devido à bomba de concentração do carbono inorgânico ser movida a ATP.

4.1.2. Biomassa Viva

A biomassa aérea viva apresentou queda no final da época seca (que no Cerrado se estende de maio a setembro) com retomada do crescimento no início das chuvas (entre outubro e novembro). A biomassa viva total no mês de julho de 1999 (mês inserido no período de seca) não mostrou diferença significativa dos meses novembro, dezembro e janeiro do mesmo ano, meses da estação chuvosa. A coleta de biomassa do estrato rasteiro em julho ocorreu após 58 dias sem chuva. Entretanto, houve diferença significativa entre julho e os meses de transição entre a seca e a estação chuvosa (agosto, setembro e outubro), onde a biomassa viva total apresentou os valores mais baixos. As chuvas começaram em agosto, porém com valores muito baixos (0,7 mm em agosto e 58,9 mm em setembro). Em outubro, apesar da alta precipitação (209,5 mm), houve chuva apenas dois dias antes da coleta, não havendo tempo para a resposta de crescimento da biomassa. Desconsiderando os eventos de chuva (0,7mm) em agosto, houve 123 dias de seca até a primeira chuva em setembro. Em fevereiro e março de 2000 os valores de biomassa viva total aumentaram significativamente em relação a todos os demais meses estudados, com exceção de janeiro. O único tratamento que superou significativamente os valores de biomassa viva total do controle foi N + P. O valor médio de biomassa viva total mais alto foi $447,1 \pm 120,5 \text{ g/m}^2$

(58% da biomassa total) sob o tratamento N + P em março de 2000. Já os valores médios mais altos no controle ocorreram em fevereiro de 2000 ($282,0 \pm 98,3 \text{ g/m}^2$, 57% da biomassa total) da mesma estação chuvosa, mas também em julho de 1999 ($287,4 \pm 38,6 \text{ g/m}^2$, 60% do total), como resistência da biomassa viva da estação chuvosa anterior. Os valores percentuais de biomassa viva em relação à biomassa total mais baixos ocorreram em outubro (28,5% no controle) e os mais altos em fevereiro (67,1% tanto no tratamento P como N + P).

A análise de variância entre os valores de biomassa viva de dicotiledôneas e monocotiledôneas nos tratamentos nos diversos meses mostrou diferença nos três fatores (meses, tratamentos e grupos – monocotiledôneas/dicotiledôneas). Ou seja, houve resposta da biomassa viva aos tratamentos, e esta resposta ocorreu de forma diferenciada em monocotiledôneas e dicotiledôneas. As monocotiledôneas responderam com um aumento significativo de biomassa viva aos tratamentos N e N+P ($N+P > N > \text{controle}$, ambas diferenças significativas), enquanto as dicotiledôneas obtiveram maiores valores de biomassa no tratamento P, entretanto, este aumento não foi significativo.

Estes resultados indicam que P, aplicado sem N não aumenta a biomassa viva nas monocotiledôneas, mas com fornecimento de N, P passa a ser limitante. Entre as gramíneas, houve diferença significativa entre as categorias espécies C_4 , menor biomassa aérea, e espécie C_3 , maior biomassa aérea, independente de tratamento. O tratamento N+P teve valores mais altos de biomassa viva de gramíneas em relação a todos os demais tratamentos e o controle. Sendo as diferenças de biomassa viva em $N+P > N > \text{controle}$ significativas, mas se devem somente a variação de biomassa da espécie de metabolismo C_3 , *E. inflexa*. As gramíneas de metabolismo C_4 , ao contrário, mostraram valor de

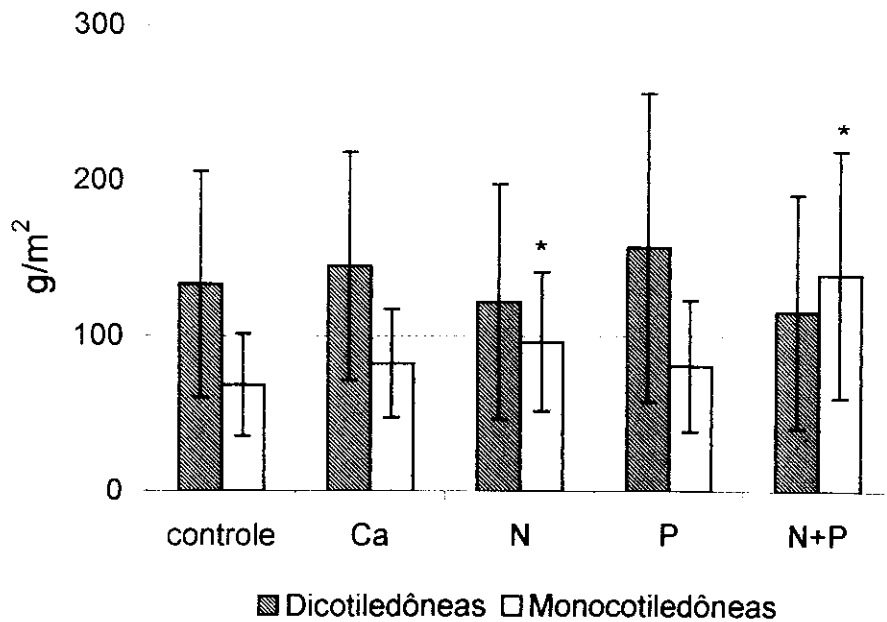


Figura 5. Comparação da biomassa viva de dicotiledôneas e monocotiledôneas sob os tratamentos de adição de nutrientes. Asteriscos indicam diferença significativa de tratamentos em relação ao controle ($P < 0,1$).

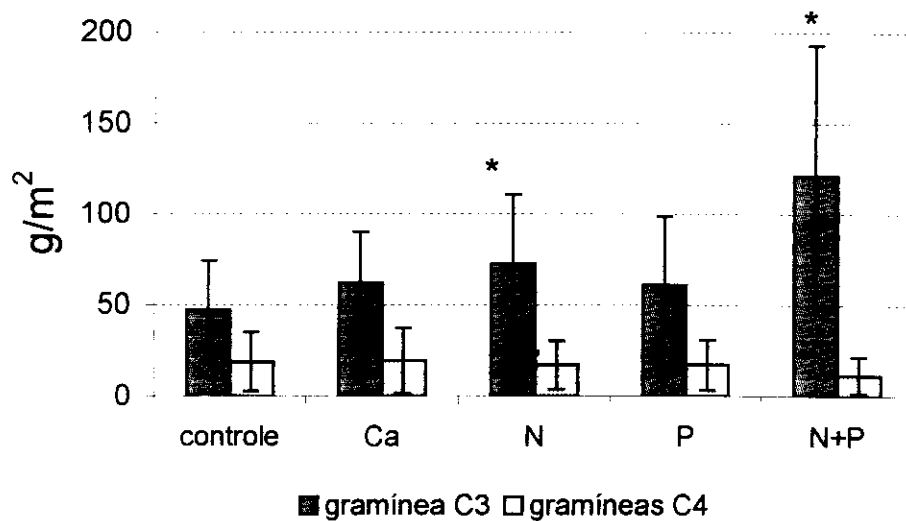


Figura 6. Comparação da biomassa viva dos grupos gramínea C3 e gramíneas C4 sob os tratamentos de adição de nutrientes. Asteriscos indicam diferença significativa de tratamentos em relação ao controle ($P < 0,1$).

biomassa viva menor no tratamento N+P que nos demais tratamentos e no controle. Entre as gramíneas, em todos os tratamentos, com exceção do tratamento Ca, houve um aumento médio de biomassa viva nas gramíneas C₃, e diminuição nas espécies C₄ (Figura 6). Para as dicotiledôneas, P mostrou uma tendência de aumento da biomassa, ao contrário das fertilizações com N, que não parece estar limitando o crescimento neste grupo, possivelmente pela maior interação com organismos fixadores no solo e a maior capacidade de estocar este elemento, mas é possível que a competição com *E. inflexa* por luz, água ou outros nutrientes esteja ocorrendo.

As dicotiledôneas mantiveram sua biomassa viva em julho sem diferença significativa entre este mês e os meses de chuva (dezembro de 1999 e janeiro, fevereiro e março de 2000), enquanto as monocotiledôneas tiveram valores baixos de biomassa viva em julho, não diferentes dos meses de seca e transição seca-chuva (agosto, setembro, outubro e novembro de 1999).

A biomassa viva de gramíneas mostrou clara oposição dos meses de seca (e início das chuvas) com os meses da estação chuvosa, sendo a biomassa viva em julho, agosto, setembro, outubro e novembro menores que em dezembro, janeiro, fevereiro e março. De fato, pode ser observado no campo que grande parte das gramíneas acaba secando quase que por completo a sua parte aérea.

4.2. Razão Folha / Parte Aérea

As estratégias de alocação de nutrientes em folhas, tecidos de sustentação, absorção e reprodução podem ter influência no sucesso das gramíneas, outras monocotiledôneas e dicotiledôneas rasteiras nestas novas condições de trofismo. Em solos oligotróficos, são

comuns estratégias conservativas de nutrientes como a retranslocação de nutrientes antes da abscisão foliar ou florescência, maior tempo de vida das folhas, aproveitamento da contribuição atmosférica de nutrientes (plantas formando touceiras e folhas em forma de rosetas), escamas de absorção sobre as folhas, associações com fungos e bactérias fixadoras de N, crescimento intenso do sistema radicular, liberação de ácidos e substâncias formadoras de quelatos pelas raízes entre outras (Larcher, 2000). Quando aumenta a disponibilidade de nutrientes a alteração de algumas destas estratégias poderia se tornar benéfica, como a tendência ao maior investimento na parte aérea em vez do alto investimento em raízes.

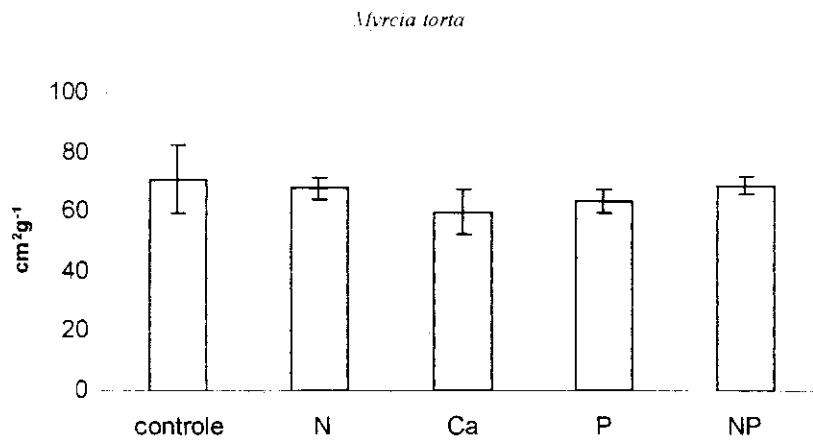
Os três grupos, dicotiledôneas e gramíneas C_3 e C_4 , não responderam aos tratamentos com mudança no investimento em folhas/parte aérea. Diferenças foram encontradas ao longo do tempo nos três grupos.

Durante os meses de seca a proporção folha / parte aérea diminuiu, como estratégia contra a dessecação. Os padrões entre os grupos são bastante distintos quanto ao investimento em biomassa fotossinteticamente ativa: *E. inflexa* tem cerca de 24% de sua biomassa aérea em folhas, enquanto dicotiledôneas tem 42% e gramíneas C_4 60%, tomando como referência o mês de novembro (estação chuvosa). Estes padrões se mantiveram nos tratamentos, o que significa que a resposta aos tratamentos com aumento de biomassa ocorre em toda parte aérea, sem preferência por folha ou caule.

4.3. Área Foliar Específica

Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos na área foliar específica (AFE) das duas espécies amostradas, *E. inflexa* e *Myrcia torta* (Figura 7).

A)



B)

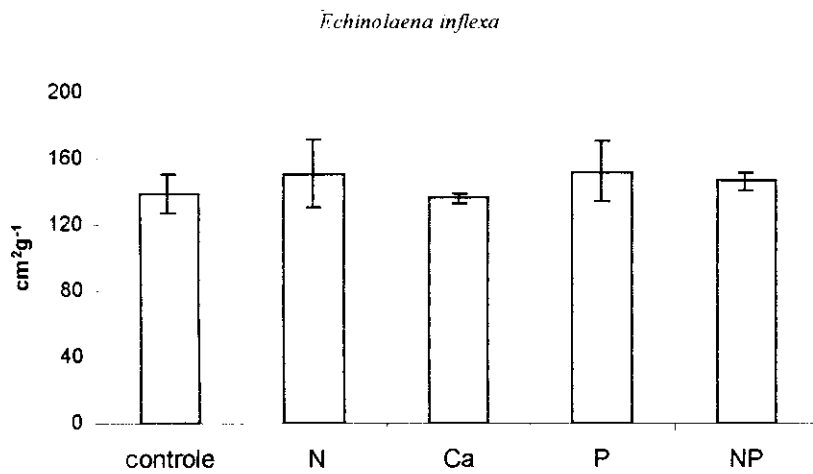


Figura 7. Valores de AFE (área foliar específica) nos tratamentos em *Myrcia torta* (A) e *Echinolaena inflexa* (B). Notar a diferença de escala: 0-100 (A) e 0-200 cm²g⁻¹ (B). Diferença entre os tratamentos não foi significativa.

O valor de AFE para *E. inflexa* foi de $14,5 \pm 1,3 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$, enquanto que para *M. torta* foi de $6,6 \pm 0,7 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$. Valores mais baixos de AFE são esperados para espécies sempre verdes (Lambers & Poorter, 2000), como é o caso de *M. torta*. A taxa de crescimento relativo (o quanto uma planta aumenta sua biomassa pela sua biomassa existente por unidade de tempo) está correlacionado com a AFE. A presença ou não de plasticidade na AFE é uma característica de cada espécie, e pode variar dentro de um mesmo gênero (Lambers & Poorter, 2000). Um maior número de espécies deve ser amostrado, para que se possa avaliar as mudanças em um período mais longo. A existência de plantas com plasticidade em sua AFE pode alterar o balanço entre as espécies com a mudança na taxa relativa de crescimento entre as espécies. No caso de *E. inflexa*, os valores médios mostraram uma tendência de aumento da AFE nos tratamentos N, P e N+P. Desta forma, amostragens mais intensivas ou por um período mais longo poderiam mostrar variações na AFE.

A área total estimada para dicotiledôneas (AFE de *Myrcia torta* multiplicada pelo valor de folha verde de dicotiledôneas como um todo) foi maior, em média, no tratamento Ca, com $5676 \pm 2937 \text{ m}^2/\text{ha}$, e menor no controle e no tratamento N+P (2762 ± 1446 e $2689 \pm 2276 \text{ m}^2/\text{ha}$). No entanto, esta uma estimativa deve ser utilizada cuidadosamente, levando-se em conta a grande diversidade de dicotiledôneas rasteiras no Cerrado. O valor de área foliar total de *E. inflexa* (AFE multiplicado pela sua biomassa de folhas vivas) foi maior no tratamento N+P ($4415 \pm 1802 \text{ m}^2/\text{ha}$), menor no controle e nos tratamentos Ca e P (1841 ± 777 ; 1842 ± 1056 e $1994 \pm 373 \text{ m}^2/\text{ha}$, respectivamente) enquanto que para N ($3843 \pm 715 \text{ m}^2/\text{ha}$) o valor foi intermediário.

Estes dados mostram que houve uma preferência por parte das plantas em aumentar o número de folhas a alterar a estrutura destas. Bucci¹ (comunicação pessoal), trabalhando com arbóreas e arbustivo-arbóreas nas mesmas parcelas, encontrou um padrão similar em resposta a adição de N. Ainda assim uma diferença qualitativa na biomassa foi observada pela maior concentração de nutrientes nesta (item 4.5.) e pelas menores razões C:N e C:P.

4.4. Biomassa de Raízes

Não foram encontradas diferenças significativas na biomassa de raízes nos diferentes tratamentos nos intervalos de profundidade 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm.

A ausência de alterações da quantidade de biomassa subterrânea nos diferentes tratamentos pode implicar em um investimento desigual das plantas estudadas entre parte aérea e raiz nos tratamentos em que houve aumento de biomassa aérea. Conseqüentemente houve um aumento relativo da proporção da biomassa predominantemente fotossintética (razão folha:biomassa total). Esta relação e a proporção de raízes finas (diâmetro < 2mm) são consideradas, por muitos autores, mais importantes do que a relação folha:parte aérea apresentada no item 4.2. (Lambers & Poorter, 1992; Körner, 1994), pois permitem uma melhor interpretação da estratégia adotada pela planta - buscar mais nutrientes e água ou mais luz.

Não foi possível identificar as raízes amostradas, e estabelecer as proporções de biomassa fotossinteticamente ativa e biomassa investida para absorção de água e nutrientes. A maior disponibilidade de nutrientes na superfície do solo causaria uma tendência de maior concentração de raízes nesta profundidade, enquanto o estresse hídrico poderia ser

¹ Sandra Janet Bucci - Universidade de Buenos Aires.

diminuído com mais raízes finas em profundidades maiores. Estes dados, porém, não garantem que as plantas rasteiras não tenham desenvolvido raízes de forma diferenciada sob os tratamentos de adição de nutrientes. O fato de o método utilizado não separar as raízes de arbóreas e rasteiras e não discriminar entre raízes vivas e mortas limita a interpretação destes dados. Uma vez que somente uma coleta foi realizada, não foi possível testar a diferença na taxa de crescimento e diferenças sazonais na quantidade de raízes.

4.5. Análise Química

4.5.1. Concentração e Estoque de Nitrogênio na Biomassa Aérea

Nos tratamentos com adição de nitrogênio (N e N+P) houve um aumento na concentração deste elemento nos tecidos de gramíneas C_4 , *E. inflexa* (C_3) e dicotiledôneas, em especial nestes dois últimos grupos. Em *E. inflexa*, os valores foram $6,84 \pm 0,89$ mg/g no controle e $9,55 \pm 1,07$ mg/g no tratamento N e $8,41 \pm 1,30$ mg/g no tratamento N+P. Em dicotiledôneas, a concentração de N foi $7,22 \pm 1,11$ mg/g no controle, passando para $11,06 \pm 1,17$ mg/g e $10,17 \pm 1,24$ mg/g nos tratamentos N e N+P, respectivamente. Em dicotiledôneas também houve um aumento significativo na concentração tecidual de N no tratamento Ca (Figura 8).

A biomassa aérea teve um ganho considerável em seu estoque de nitrogênio no tratamento N+P, uma vez que, além do aumento na concentração deste elemento nos tecidos, houve um aumento na biomassa (ver 5.1.).

Tomando-se os valores de biomassa no mês de março (quando foram coletadas amostras para análise química) e concentração deste nutriente nos tecidos, tem-se que as

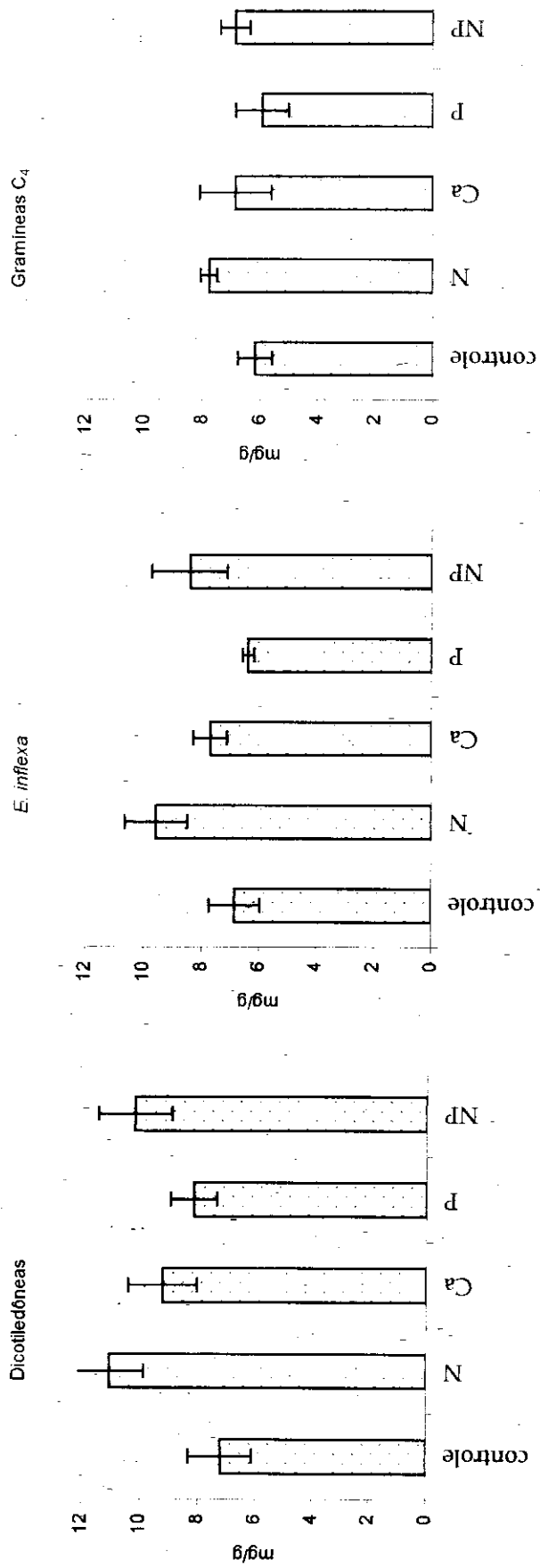


Figura 8. Concentração de nitrogênio nos tecidos de dicotiledóneas, gramínea C₃ (*E. inflexa*) e gramíneas C₄.

dicotiledôneas, *E. inflexa* e gramíneas C₄ colaboraram; respectivamente, com 46%, 35% e 19% do estoque de N do controle, com um estoque total de $32,8 \pm 5,8$ kg/ha. No tratamento N+P estes valores passaram para 55% nas dicotiledôneas, 42% em *E. inflexa* e 3% nas gramíneas C₄, em um total de $65,8 \pm 27,3$ kg/ha, ou seja, o estoque de N dobrou. No tratamento N, o estoque de N chegou a $57,0 \pm 20,0$ kg/ha, com proporções dos grupos na mesma ordem, de 55%, 37% e 8%. Os tratamentos Ca e P apresentaram valores intermediários de estoque de N ($39,1 \pm 12,8$ e $40,4 \pm 8,2$ kg/ha, respectivamente).

A maior demanda por N esperada pelas espécies de metabolismo C₃ se comprovou com a maior absorção deste elemento quando a disponibilidade não mais foi limitante. Mas a maior eficiência destes grupos (*E. inflexa* e dicotiledôneas) na absorção de N se mostrou com a adição simultânea de P, passando estes grupos a possuir de 81% do estoque de nitrogênio no controle a 92% no tratamento N chegando a 97% no tratamento N+P.

O estoque de N encontrado nas parcelas controle do presente trabalho foi superior ao encontrado por Pivello & Coutinho (1992) e Kaufman et al. (1994), Tabela 3. Isto se deve certamente ao fato de estes autores terem coletado as amostras durante a seca (experimentos de queima da biomassa), enquanto os dados aqui apresentados referem-se ao período de chuvas (março). A variação sazonal dos estoques dos nutrientes N, P e K no Cerrado pode ser vista em Batmanian & Haridasan (1985).

Tabela 2. Comparação dos estoques de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado sentido restrito, submetido à tratamentos de fertilização. Valores em kg/ha. Dados referentes a biomassa coletada em março de 2000.

tratamento	N	P	K	Ca	Mg
Controle	32,5 ±5,8	2,3 ±0,5	14,7 ±5,9	9,4 ±1,8	6,8 ±2,0
N	57,0 ±20,0	3,9 ±1,5	21,5 ±10,3	10,5 ±4,0	6,9 ±2,1
Ca	39,7 ±12,8	2,8 ±0,8	13,12 ±3,2	27,4 ±12,0	11,9 ±4,8
P	40,4 ±8,2	5,2 ±1,4	20,9 ±6,5	26,1 ±3,1	6,8 ±1,4
N+P	65,7 ±27,3	6,5 ±3,0	26,4 ±14,6	28,6 ±15,2	9,9 ±5,6

A resposta de concentração de N na biomassa nos tratamentos está de acordo com Garofalo (2001) que, trabalhando com disponibilidade de nutrientes no solo nas mesmas parcelas, encontrou nas parcelas fertilizadas com N (tratamentos N e N+P) uma maior disponibilidade de nitrogênio, ainda que não tenha havido mudança de N total no solo.

4.5.2. Concentração e Estoque de Fósforo na Biomassa Aérea

Gramíneas C₃ e C₄ e dicotiledôneas responderam aos tratamentos P e N+P com o aumento na concentração de fósforo em seus tecidos. As concentrações deste elemento nos tecidos de dicotiledôneas passaram de 0,56 ± 0,04 mg/g para 1,01 ±0,27 mg/g no tratamento P e 1,00 ±0,20 mg/g no tratamento N+P; em *E. inflexa* de 0,44 ±0,06 mg/g para 0,72 ± 0,03 mg/g no tratamento P e 0,77 ±0,02 mg/g no tratamento N+P e nas gramíneas C₄ de 0,43 ±0,07 para 1,03 ±0,31 mg/g e 0,90 ±0,08 mg/g nos tratamentos P e N+P, respectivamente. As diferenças foram significativas entre o controle e estes dois tratamentos e ocorreram nos

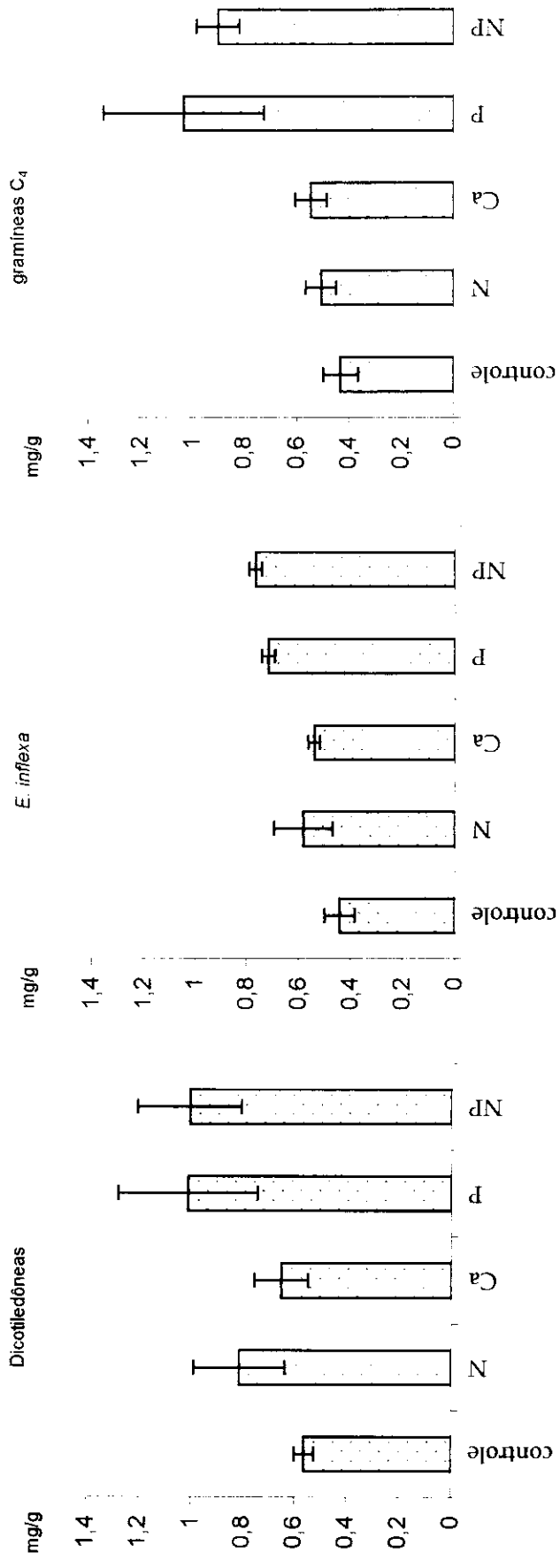


Figura 9. Concentrações de fósforo em tecidos de dicotiledóneas, gramínea C₃ (*E. inflexa*) e gramíneas C₄ sob os tratamentos de fertilização.

três grupos. A resposta mais acentuada pôde ser observada na concentração tecidual dos grupos C₄ e dicotiledôneas em comparação com *E. inflexa* (Figura 9). Os tratamentos Ca e N parecem ter influenciado a absorção de fósforo, sendo a concentração deste elemento maior em média nestes tratamentos para os três grupos.

Também para este elemento houve um aumento considerável no seu estoque na biomassa nos tratamentos em que foi aplicado: de $2,3 \pm 0,5$ kg/ha no controle, para $6,5 \pm 3,0$ kg/ha no tratamento N+P e $5,2 \pm 1,4$ kg/ha no tratamento P. Os tratamentos Ca e N apresentaram valores intermediários ($2,8 \pm 0,8$ e $3,9 \pm 1,5$ kg/ha, respectivamente). A participação no estoque de P de dicotiledôneas, gramíneas C₃ e C₄ no controle foi de respectivamente 50%, 32% e 18%, enquanto os mesmos grupos apresentaram valores de 58%, 24% e 17% no tratamento Ca, 59%, 33% e 8% no tratamento N, 57%, 39% e 4% no tratamento N+P e 45%, 28% e 26% no tratamento P. A maior parcela do estoque de P em gramíneas C₄ no tratamento P reforça a idéia de maior demanda por N nas espécies C₃ (*E. inflexa* + dicotiledôneas), que absorveram 96% do P quando este elemento foi adicionado juntamente com N (N+P).

O estoque de P foi maior neste trabalho que nos trabalhos de Villela (1990) e Kauffman et al. (1994), mas menor do que em Pivello & Coutinho (1992). A grande diferença com o trabalho de Villela (1990) se deve não somente por ter sido usado apenas o valor de biomassa viva para estabelecer o estoque, mas também pela composição do estrato rasteiro (menor proporção dicotiledônea/gramíneas em Villela, 1990), uma vez que as concentrações deste elemento por categoria não foram muito díspares nos dois estudos. Esta diferença pode ser observada no estoque dos demais elementos na Tabela 3.

Os dados de concentração de P nos tecidos também acompanharam o aumento da disponibilidade no solo. Segundo Garofalo (2001), em relação ao controle, a disponibilidade de P triplicou no tratamento P na profundidade de 0-5 cm, mas houve aproximadamente seis vezes mais fósforo disponível no tratamento N+P na mesma profundidade e ainda houve aumento nos tratamentos N e Ca, todos na camada de 0-5 cm.

4.5.3. Concentração e Estoque de Cálcio na Biomassa Aérea

Houve uma resposta significativa de aumento da concentração de Ca na biomassa aérea nos três grupos ao tratamento Ca, assim como nos tratamentos P e N+P (nos tratamentos em que foram adicionados P, também houve adição de Ca, na forma de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, e CaSO_4 – ver 4.2.) na concentração de cálcio nos tecidos.

A ordem da concentração de cálcio varia de aproximadamente 1 mg/g em gramíneas ($0,93 \pm 0,32$ mg/g para *E. inflexa* e $0,99 \pm 0,10$ mg/g para as demais gramíneas) para 3 mg/g em dicotiledôneas ($3,32 \pm 0,52$ mg/g) na situação controle e valores semelhantes no tratamento N. Além de terem concentração maior de cálcio na situação controle, as dicotiledôneas responderam ainda mais aos tratamentos Ca e P na sua concentração tecidual de cálcio: de $3,32 \pm 0,52\%$ para $8,51 \pm 1,09$ mg/g no tratamento Ca e $8,50 \pm 2,44$ mg/g no tratamento P, enquanto as gramíneas variaram de aproximadamente 1,00 mg/g para $2,43 \pm 0,29$ mg/g nas gramíneas C_4 e $2,00 \pm 0,30$ mg/g na gramínea C_3 sob o tratamento Ca e valores aproximados no tratamento P (Figura 10).

O estoque mais alto de Ca foi encontrado no tratamento N+P, $28,6 \pm 15,3$ kg/ha, seguido do tratamento Ca $27,4 \pm 12,0$ kg/ha e tratamento P, $26,1 \pm 3,1$ kg/ha. Estes valores foram bastante superiores aos encontrados no controle ($9,4 \pm 1,8$ kg/ha) e no tratamento N ($10,5$

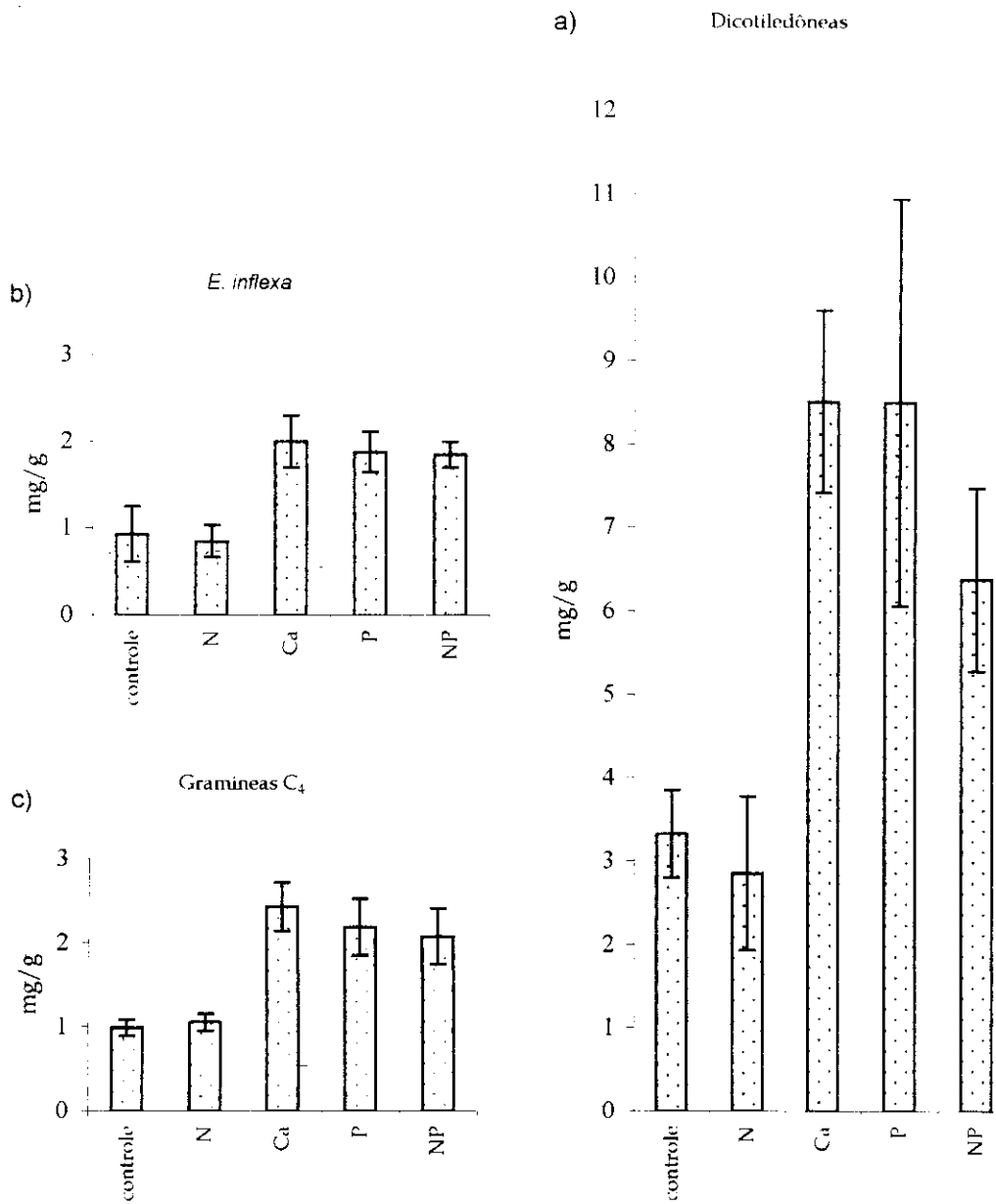


Figura 10. Concentração de cálcio na biomassa de dicotiledóneas(a), gramínea C₃ (*Echinolaena inflexa*)(b) e gramíneas C₄ (c) nos diversos tratamentos.

$\pm 4,1 \text{ g/m}^2$). A participação por grupo na ordem dicotiledônea, *E. inflexa* e gramíneas C_4 foi: 73%, 16% e 11% no controle, 83%, 9% e 8% no tratamento Ca, 75%, 19% e 6% g/m^2 no tratamento N, 77%, 21% e 2% no tratamento N+P e 74%, 15,5% e 10,5% no tratamento P.

O aumento da concentração de Ca na biomassa refletiu o aumento da disponibilidade de Ca no solo. Garofalo (2001) obteve que a concentração de cálcio aumentou no tratamentos Ca e N+P e diminuiu no tratamento N.

4.5.4. Concentração e Estoque de Magnésio na Biomassa Aérea

Não houve diferenças significativas na concentração de magnésio nos grupos entre tratamentos, com exceção do tratamento Ca (o calcário utilizado foi dolomítico com 12,1% de óxido de magnésio, ver 3.2), onde os valores foram mais altos em todos os grupos. Este aumento foi significativo em relação aos demais tratamentos em *E. inflexa*, nos tratamentos N e P nas gramíneas C_4 e nos tratamentos N, P e N+P nas dicotiledôneas (Figura 11).

A concentração de magnésio, assim como a de cálcio, foi maior nas dicotiledôneas ($1,94 \pm 0,39 \text{ mg/g}$ enquanto $0,97 \pm 0,24 \text{ mg/g}$ em *E. inflexa* e $1,12 \pm 0,45 \text{ mg/g}$ em gramíneas C_4).

O maior estoque de Mg também foi encontrado no tratamento Ca, $11,9 \pm 4,8 \text{ kg/ha}$, enquanto no controle e tratamentos N e P os estoques não diferiram sendo respectivamente $6,8 \pm 2,0 \text{ kg/ha}$, $6,9 \pm 2,1 \text{ kg/ha}$ e $6,8 \pm 1,4 \text{ kg/ha}$. Já no tratamento N+P o estoque chegou a $9,9 \pm 5,6 \text{ kg/ha}$. A participação por grupo na ordem dicotiledônea, *E. inflexa* e gramíneas C_4 foi: 58,5%; 24,2% e 17,3% no controle, 55,4%; 26,2% e 18,4% no tratamento Ca, 56%; 35% e 9% no tratamento N, 64%; 33% e 3% no tratamento N+P e 51%; 32% e 17% no tratamento P.

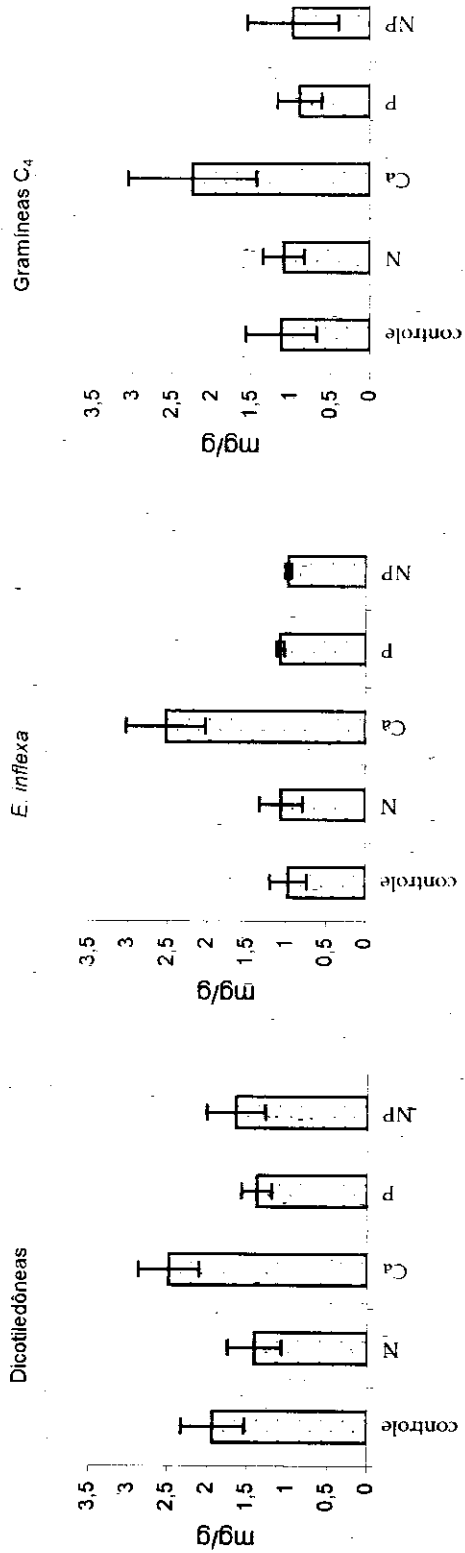


Figura 11. Concentração de magnésio nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C₃ (*E. inflexa*) e gramíneas C₄ nos tratamentos de fertilização.

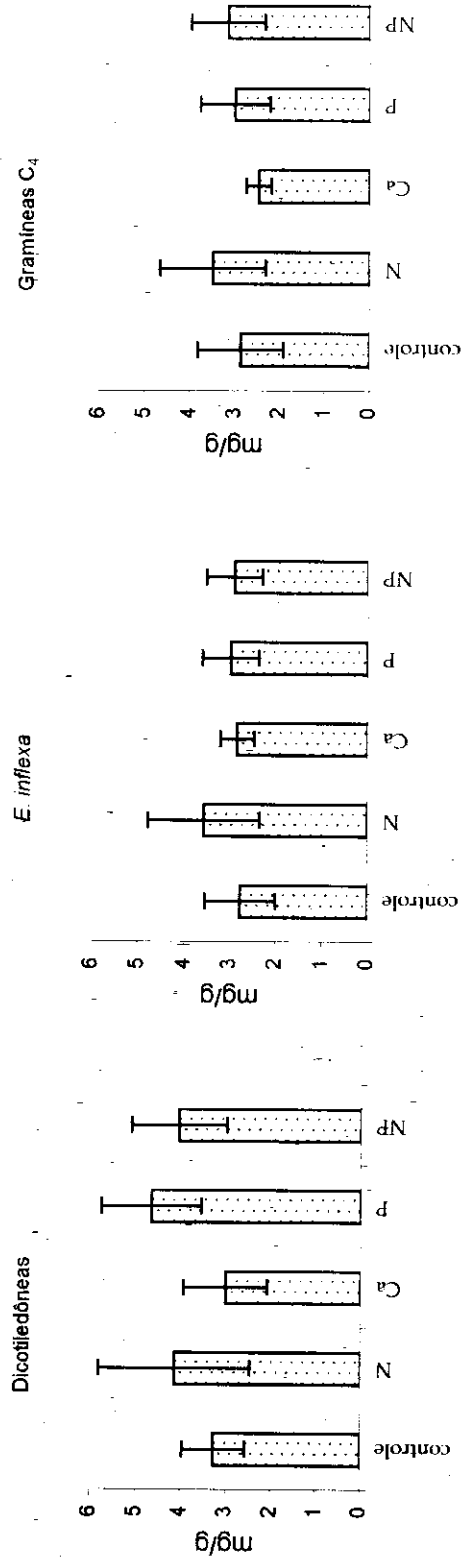


Figura 12. Concentração de potássio nos tecidos de dicotiledôneas, gramínea C₃ (*E. inflexa*) e gramíneas C₄ nos tratamentos de fertilização.

A variação na concentração de Mg na biomassa entre os tratamentos deveu-se ao calcário dolomítico, que também aumentou a concentração deste elemento no solo no tratamento Ca, mas também houve aumentos nos tratamentos N e N+P, Garofalo (2001).

4.5.5. Concentração e Estoque de Potássio na Biomassa Aérea

Não foram encontradas diferenças significativas entre tratamentos na concentração de potássio nos tecidos dos três grupos de plantas (Figura 12). O estoque de K, porém, acompanhou as variações na biomassa nos tratamentos. No controle, o estoque foi de 14,7 kg/ha, nos tratamentos Ca, N, N+P e P os valores respectivos foram $13,1 \pm 3,2$; $21, \pm 10$; $26,4 \pm 14,3$ e $20,9 \pm 6,5$ kg/ha. As contribuições no controle e tratamentos na ordem acima de dicotiledôneas, *E. inflexa* e gramíneas C4 respectivamente foi de 46%, 34% e 20% (controle), 55%, 28% e 17% (Ca), 52%, 39% e 9% (N), 58%, 39% e 3% (N+P) e, finalmente, 53%, 28% e 18% (P).

4.5.6. Concentração de Alumínio na Biomassa Aérea

A espécie de gramínea C₃, *E. inflexa* apresentou mais baixos valores de concentração tecidual de alumínio ($0,16 \pm 0,03$ mg/g, no controle) em relação às espécies C₄ ($0,25 \pm 0,07$ mg/g no controle) e as dicotiledôneas variaram muito: ($0,52 \pm 0,54$ mg/g no controle). *E. inflexa* respondeu ao tratamento Ca com uma diminuição na concentração de alumínio, em relação ao controle e tratamentos N e P (Figura 13), provavelmente devido à diminuição de Al trocável no solo das parcelas do tratamento Ca Garofalo (2001). Ainda assim as espécies C₄ não apresentaram uma diminuição significativa de Al na sua biomassa.

Desvios maiores que as médias nos valores de concentração tecidual de alumínio no tratamento P e no controle foram encontrados em dicotiledôneas, e uma variação considerável ($0,33 \pm 0,28$ mg/g) foi encontrada também no tratamento N+P. Esta variação deve ocorrer devido à existência de diversas estratégias de dicotiledôneas do Cerrado em relação ao Al. Entre espécies arbóreas são comuns plantas acumuladoras deste elemento (Haridasan, 1982), enquanto outras impedem a absorção deste pelas raízes.

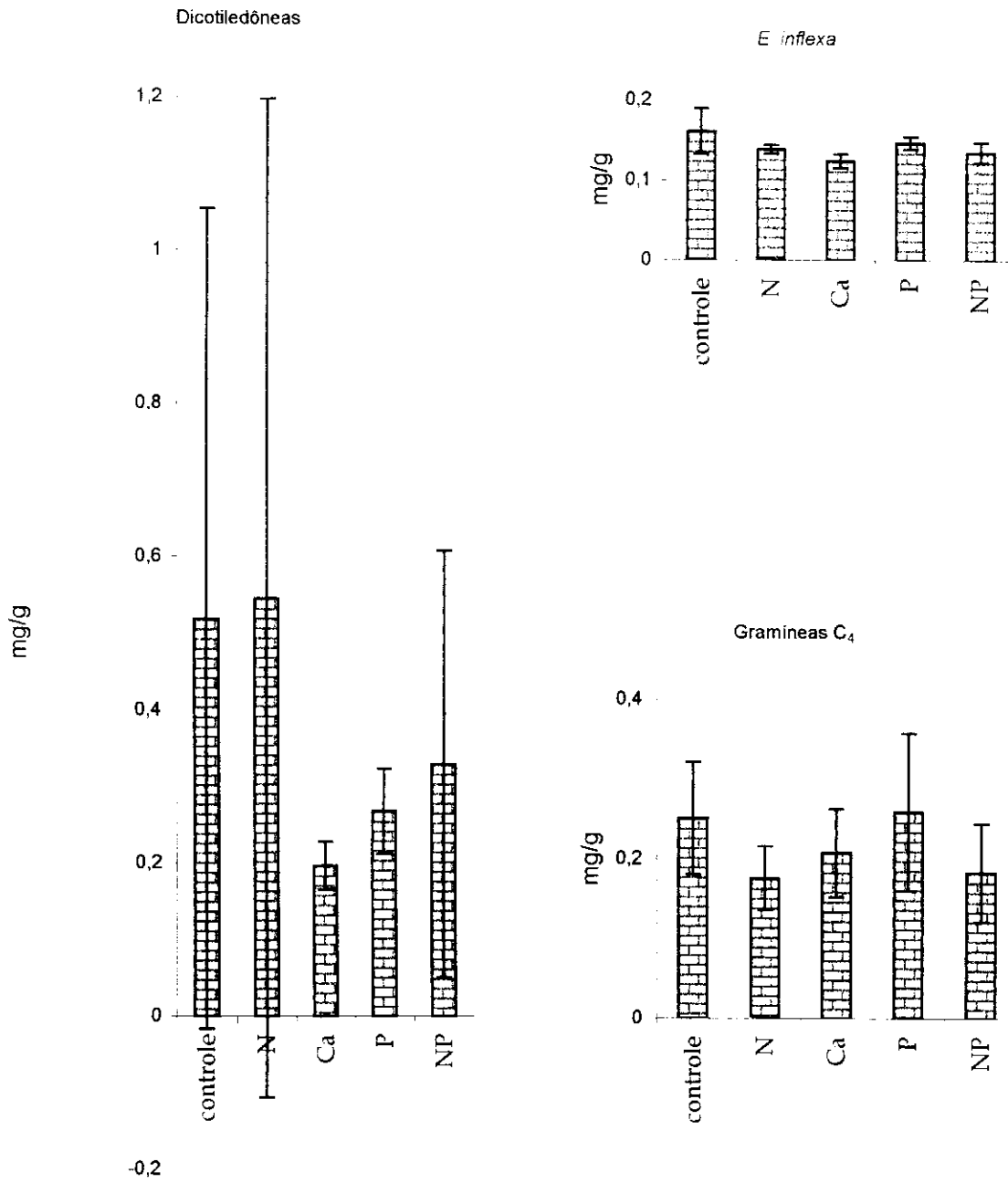


Figura 13. Concentração de alumínio em tecido de dicotiledôneas, gramíneas C₃ (*E. inflexa*) e gramíneas C₄.

Tabela 3. Comparação de estoques de nutrientes no estrato rasteiro de Cerrado, valores em kg/ha. Os valores do presente estudo são médias de estoque com desvios padrão. Os estoques citados para Villela (1990) e Kauffman et al. (1994) foram calculados multiplicando-se a média da biomassa dos componentes do estrato rasteiro pela média da concentração de cada nutriente neste componente.

Época da coleta	N	P	K	Ca	Mg	Local	Fonte
jul/78; set/81; mai/82; jun., jul. e out/83**	21,7	3,1	16,1	23,3	7,14	Campo cerrado – Emas (SP)	Pivello & Coutinho (1992)
Março/88	---	1,1*	12,6*	7,6*	2,5*	Cerrado sensu stricto – Estação experimental – UnB (DF)	Villela (1990)
Ago/set. 1990**	22,4	1,7	10,0	7,9	---	Cerrado sensu stricto – RECOR (DF)	Kauffman et al. (1994)
Março/00	32,5 ±5,8	2,3 ±0,5	14,7 ±5,9	9,4 ±1,8	6,8 ±2,0	Cerrado sensu strictu – RECOR (DF)	Presente estudo** *

*apenas a biomassa viva
**meses da estação seca

***valores obtidos nas parcelas sem fertilização

4.5.7. Concentração de Carbono e Razões C:N e C:P na Biomassa Aérea

Houve uma tendência de diminuição na concentração de carbono no tratamento Ca, mas a diferença não foi significativa em *E. inflexa*.

Em dicotiledôneas e gramíneas C₄, houve um aumento significativo no tratamento Ca em relação ao controle e tratamento N. Os valores mais altos da razão C:N para dicotiledôneas e gramíneas C₄ ocorreram no controle (70:1 e 85:1 respectivamente). Em *E. inflexa* a

razão C:N foi mais alta (76:1) no tratamento P que no controle (73:1). As gramíneas C_4 , por terem uma maior eficiência no uso de nitrogênio, apresentaram os valores mais altos de C:N independente de tratamento, e obtiveram valor mais baixo de C:P no tratamento P (notar na Tabela 4 que os valores são muito próximos para os tratamentos N e N+P nos três grupos). Nas espécies C_3 em geral (*E. inflexa* e dicotiledôneas), o aproveitamento de P foi melhor com a adição de N+P, e obtiveram-se os valores mais baixos de C:P neste tratamento, ainda que os valores sejam muito próximos. Os valores de C:P mais altos foram obtidos no controle nos três grupos.

As diferenças nas razões C:N e C:P entre os grupos e devido aos tratamentos podem ter efeitos na taxa de decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes da biomassa aérea.

Tabela 04. Razões entre carbono e fósforo (C:P) e carbono e nitrogênio (C:N) para os grupos dicotiledônea, a gramínea C_3 (*E. inflexa*) e gramíneas C_4 submetidas a tratamentos de fertilização. Valores de N por 1 C e P por 1 C.

Tratamento	Dicotiledôneas		<i>E. inflexa</i>		Gramíneas C_4	
	C:N	C:P	C:N	C:P	C:N	C:P
Controle	70	890	73	1082	85	1171
N	46	641	52	863	69	1013
P	60	511	76	682	82	496
N+P	49	510	60	645	76	573
Ca	54	768	63	897	73	895

4.6. Condutância Estomática

Existe uma relação direta entre a assimilação de CO₂ e a perda de vapor de água pelas folhas, devido à impossibilidade de os estômatos permitirem a entrada de CO₂ sem com isto perderem umidade para a atmosfera. A eficiência na absorção de CO₂ em detrimento da perda de água foi otimizada em plantas que desenvolveram metabolismo dos tipos C₄ e CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), mas somente em condições de suficiente radiação de luz fotossinteticamente ativa e calor.

A eficiência de uma planta em retirar carbono da atmosfera sem perder água em demasia está relacionada ao seu estado nutricional. Schulze et al. (1994) correlacionaram valores de condutância estomática (g_s) máxima com concentração de nitrogênio foliar. Estes autores propõem que a disponibilidade de N regula o conteúdo de N na forma de Ribulose-1,5-bifosfato-carboxilase-oxigenase (Rubisco) na folha. Quando a concentração foliar desta enzima aumenta, a eficiência do uso da água (EUA) cresce, uma vez que maiores quantidades de CO₂ por unidade de tempo podem ser retirados do ar, diminuindo a transpiração desnecessária através do controle estomático.

Trabalhos sobre fluxos de vapor de água e CO₂ se limitam geralmente à escala de folha e/ou copa, não levando em conta a nutrição mineral destas, e, por outro lado, estudos de nutrição mineral no campo raramente abordam fluxos de CO₂ ou relações hídricas (Schulze et al., 1994). Estudos sobre estado nutricional de plantas rasteiras no Cerrado foram realizados por Villela & Haridasan (1994) e Haridasan et al. (1997), que concluíram que a produção neste estrato é limitada por falta de nutrientes. Trabalhos de relações hídricas deste componente do Cerrado tiveram como pioneiro Rawitscher (1948), mas não há trabalhos que relacionem este aspecto ao estado nutricional das plantas rasteiras.

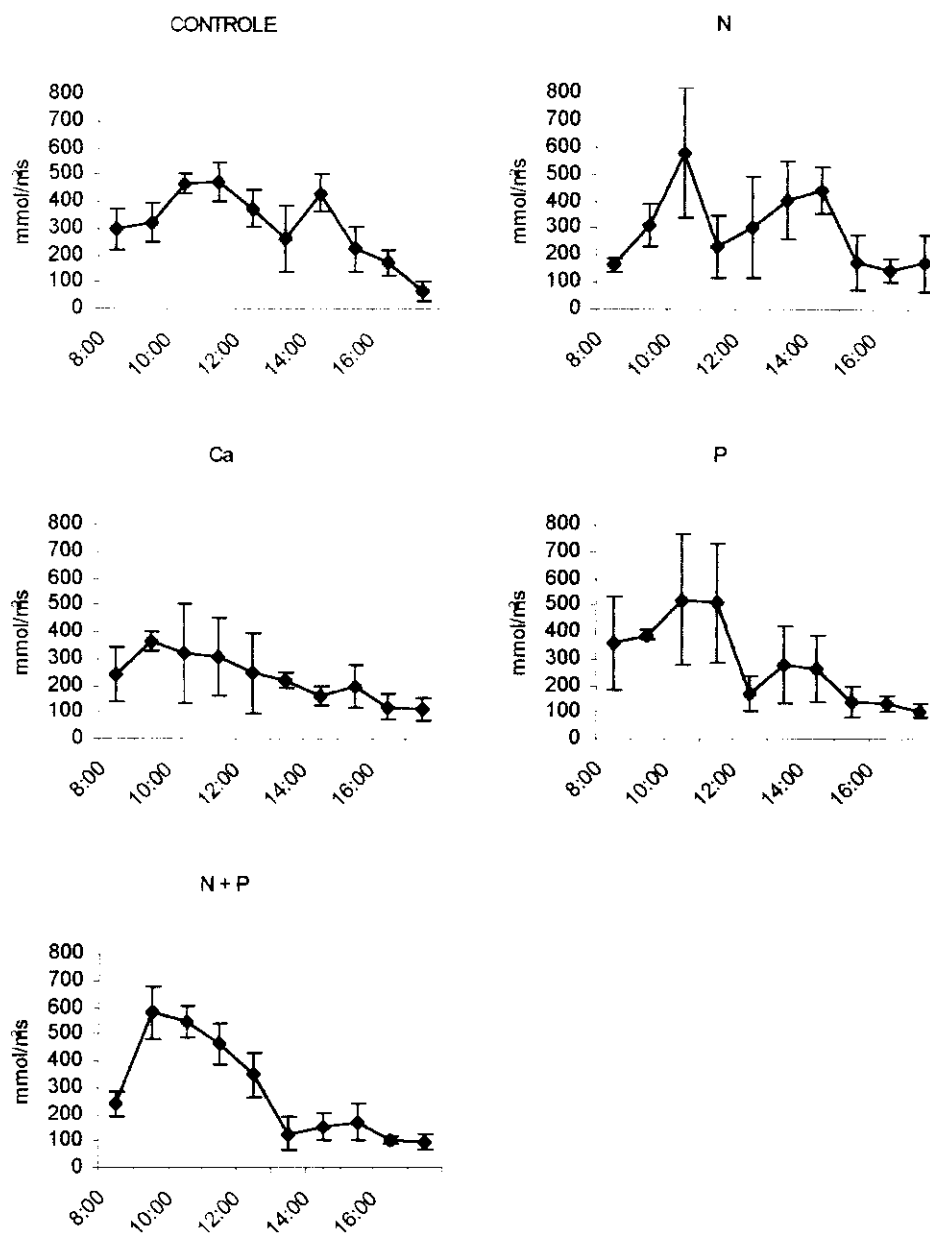


Figura 14. Condutância estomáca de *E. inflexa* submetida a tratamentos de fertilização medida no dia 27 de abril de 2000, dia claro, sem nuvens no final do período de chuvas (menor umidade relativa de aproximadamente 40%).

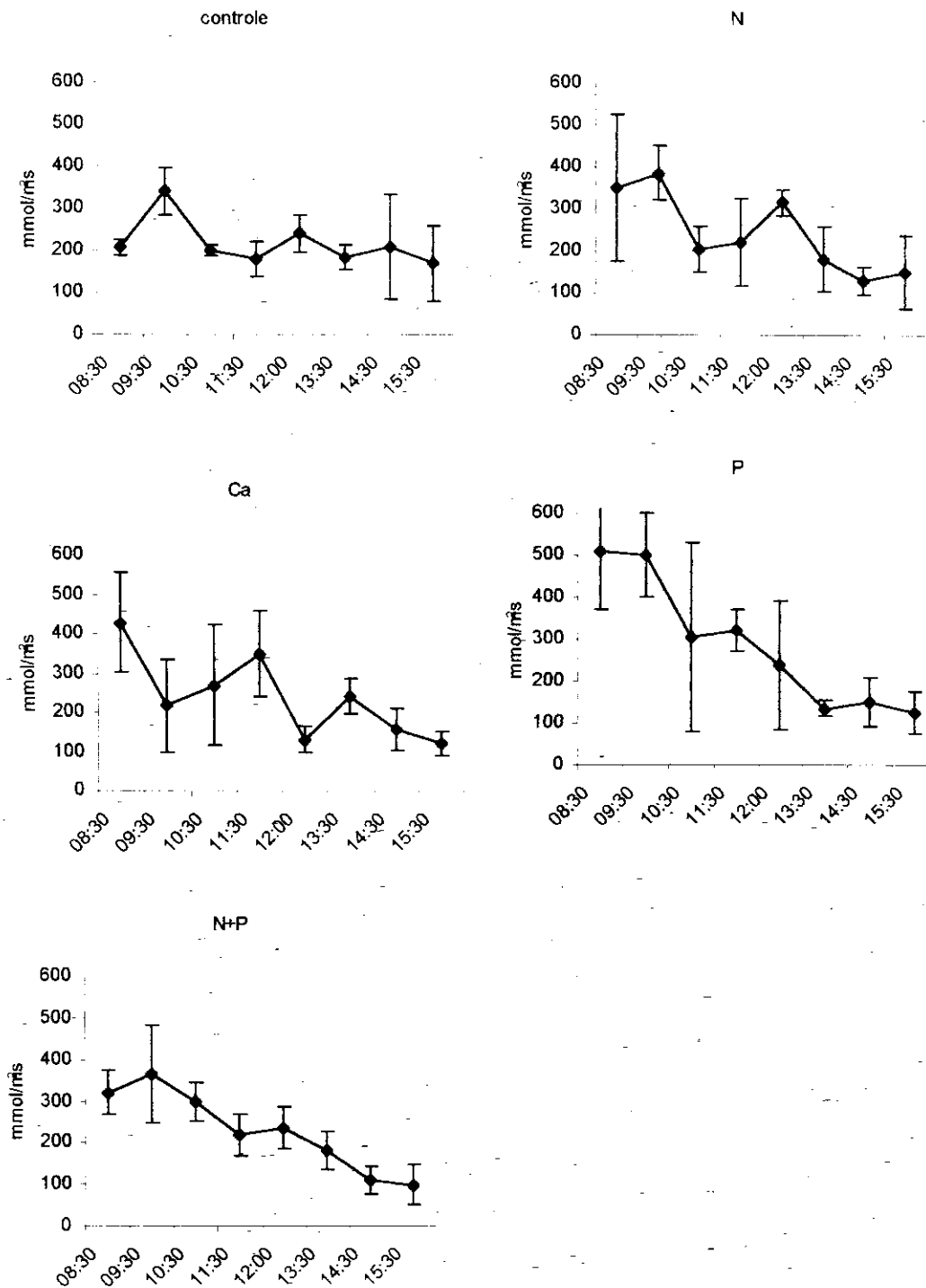


Figura 15. Condutância estomáca de *Myrcia torta* nos diversos tratamentos de fertilização. Dados obtidos no dia 5 de maio de 2000, sem nuvens no final do período chuvoso (menor umidade relativa aproximadamente 45%).

E. inflexa teve, no controle, um pico de condutância estomática mais alto ($470 \pm 72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) que *Myrcia torta* (pico em $340 \pm 57 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Os picos de condutância foram mais altos em *M. torta* em todos os tratamentos em relação ao controle e *E. inflexa* apresentou valores mais baixos que o controle apenas sob o tratamento Ca (Figuras 14 e 15). Isto significa que, pelo menos em algum momento do dia, a relação entre a demanda por CO_2 (produtividade) / fornecimento de água foi mais elevada nos tratamentos do que no controle (exceto no tratamento Ca para *E. inflexa*).

E. inflexa teve um padrão de dois picos de condutância estomática (o primeiro entre 10:00 e 12:00 e o segundo entre 14:00 e 15:00) na situação controle (Figura 14). Este comportamento estomático ocorre quando há a necessidade de se controlar a perda de água durante o horário de maior demanda evaporativa (o fornecimento de água não é ilimitado), mas há água para se manter as trocas gasosas durante a tarde, abrindo novamente os estômatos sem comprometer o balanço hídrico (Larcher, 2000). Esta tendência pôde ser observada ainda nos tratamentos N e P, mas não nos tratamentos Ca e N+P. Neste último, o pico de condutância foi de $580 \pm 72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ entre 9:00 e 10:00, o mais alto entre todos os tratamentos, seguido de um declínio até às 14:00, quando a condutância não passou da faixa de 100 a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até o final do dia. *Myrcia torta* também apresentou um padrão de declínio da condutância estomática do horário matutino para o vespertino nos tratamentos N+P e P (valores de pico de condutância às 9:30 de $365 \pm 116 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no tratamento N+P, e às 8:30 de $508 \pm 138 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no tratamento P), porém o controle não apresentou dois picos como em *E. inflexa*, mas um pico entre as 9:30 e 10:30 ($340 \pm 57 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) seguido de uma condutância em torno de $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ até o final do dia. O tratamento Ca teve valores bastante variáveis durante a manhã e uma

diminuição da condutância no horário mais quente, entre 12:30 e 13:30 quando os valores foram $130 \pm 33 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no mesmo horário em que no tratamento N houve um segundo pico de condutância ($315 \pm 33 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Esta maior condutância de *E. inflexa* pela manhã, seguida de controle da transpiração à tarde no tratamento N+P, condiz com a maior produção de biomassa neste tratamento. Este padrão evidencia uma maior disponibilidade de água pela manhã (sem esta limitação, sem limitação aparente de nutrientes e de luz, a produção tende a aumentar), seguida de um esgotamento de água no solo à tarde, quando se faz necessário o controle estomático. O comportamento de *M. torta* neste tratamento também reflete uma disponibilidade maior de água pela manhã, seguida de um rígido controle estomático durante a tarde.

As camadas mais superficiais do solo, por estarem com maior densidade de raízes (Moreira et al., 1996; Abdala et al. 1998; Oliveira 1999), secam mais rapidamente, sendo esperada uma forte competição por água. O estrato rasteiro do Cerrado, por apresentar raízes menos profundas, sofre déficit hídrico mais rapidamente que as espécies lenhosas. Muitas herbáceas secam por completo a sua parte aérea com o avanço da estiagem, rebrotando de estruturas subterrâneas (por exemplo, xilopódeos) na próxima estação chuvosa (Eiten, 1994; Ribeiro & Walter, 1998).

Os dados de conteúdo gravimétrico de água no solo não mostram a existência de parcelas com menor conteúdo de água no solo. Estas medidas, porém, foram tiradas durante as manhãs, não sendo possível estabelecer se à tarde houve um maior esgotamento deste recurso nas parcelas N+P.

Dados de conteúdo volumétrico de água no solo obtidos com TDR indicam uma maior disponibilidade de água no controle em relação a todos os tratamentos nas profundidades de

60 a 90 cm, de maio a setembro de 2000, e nas profundidades de 90 a 120 cm desde março até setembro. Mas, da mesma forma que os dados de conteúdo gravimétrico de água no solo, estes dados foram obtidos durante as manhãs e não esclarecem a situação hídrica nas camadas superiores durante a tarde, quando se observou o fechamento estomático em parcelas fertilizadas.

4.7. Invasão de Espécie Alienígena

Além de influenciar a relação entre grupos de plantas nativas, uma mudança na disponibilidade de nutrientes pode alterar a competição entre plantas nativas e invasoras. Como plantas nativas que tiveram sua história evolutiva sobre solos distróficos tendem a ter um crescimento mais lento (Lambers & Poorter, 1992; Larcher, 2000), em condições de distúrbios, plantas invasoras podem se beneficiar da nova situação. Bilbao e Medina (1990), em um experimento de fertilização na Venezuela, demonstraram que *Andropogon gayanus* Kunth, uma gramínea africana, é muito mais eficiente que *Panicum plicatulum* Michx. (nativa da América do Sul) na absorção de nitrogênio. Porém seu potencial de crescimento é fortemente limitado por fósforo. No experimento de fertilização dos autores supracitados, *A. gayanus* mostrou-se ainda mais competitivo na situação em que P não era limitante.

Grandes áreas de Cerrado têm sido invadidas por espécies de gramíneas africanas. Estas espécies são capazes de colonizar o Cerrado rapidamente após qualquer tipo de distúrbio (Klink, 1996). A questão das gramíneas invasoras, particularmente *Melinis minutiflora*, é apontado como o problema mais difícil de resolver em reservas naturais no Cerrado (Pivello et al., 1999).

Em abril de 1999 quando se começou a coletar o estrato rasteiro para o estabelecimento da metodologia, uma única pequena touceira de *M. minutiflora* (cerca de 20 cm de diâmetro) era conhecida na parte da reserva onde este estudo se realizou. Esta touceira está localizada em uma trilha que margeia uma das parcelas fertilizada com P, do lado oposto desta.

A colonização por *M. minutiflora* foi observada em parcelas fertilizadas e suas bordas, ficando as parcelas controle bem como as áreas entre parcelas sem a presença desta espécie.

Ao final das coletas, *M. minutiflora* foi encontrado em uma parcela do tratamento Ca, uma parcela do tratamento P e 3 parcelas do tratamento N+P, sendo que neste tratamento as touceiras têm diâmetro maior que 100 cm. A invasão de uma área por *Melinis minutiflora* pode alterar o regime de fogo, ciclagem de nutrientes e sombreamento, assim desencadeando uma série de fatores que em última instância promovem a mudança de composição, diversidade, função e dinâmica de sucessão (Asner & Beatty, 1996). Este resultado de 3 em 4 parcelas fertilizadas com N+P terem sido colonizadas por *M. minutiflora* é um forte indício de que as invasões de gramíneas C4 africanas que ocorrem no Cerrado tenham, como um forte determinante, o incremento antrópico de nutrientes.

5. Considerações Finais

Apesar de responderem com aumento na concentração de nutrientes em seus tecidos, as gramíneas C₄ nativas não conseguiram incrementar a sua biomassa com as fertilizações.

Isto ocorreu, provavelmente, devido à maior competitividade dos demais grupos, especialmente *E. inflexa*. Para esta espécie, N mostrou-se limitante para o crescimento e P tornou-se limitante quando o fornecimento de N supriu o necessário para o crescimento. A

resposta desta gramínea parece ter inibido também o crescimento de dicotiledôneas nos tratamentos N e N+P (valores de biomassa viva menores que no controle, porém não significativos).

Ocorre, porém, que espécies menos exigentes de recursos limitantes podem voltar a ser mais competitivas segundo o modelo da redução de recursos (Wedin & Tillman, 1993). A resposta em longo prazo deve diferir daquela observada em uma ou duas estações de crescimento, e dependem da continuidade do fornecimento dos citados recursos.

É possível que N não seja um nutriente limitante para as dicotiledôneas, por estas estabelecerem associação mais eficiente com organismos fixadores no solo ou ainda que possuam estruturas mais eficientes para armazenar os compostos aminados retranslocados por ocasião da senescência foliar. Ou seja, as dicotiledôneas possuiriam estratégias conservativas em relação ao nitrogênio mais eficientes que as demais plantas do estrato rasteiro do Cerrado.

A maior produção de biomassa por *E. inflexa* no tratamento N+P e a invasão destas parcelas por *Melinis minutiflora* associadas a menor produção de biomassa das espécies C₄ nativas neste tratamento indicam a possibilidade de exclusão competitiva das últimas. Isto é preocupante, tendo em vista que pelo menos 37 gêneros de gramíneas ocorrem em cerrado *sensu stricto* (Mendonça et al. 1998). Na Reserva Biológica Cerrado de Emas, Pirassununga – S.P., já foi mensurada a substituição de espécies herbáceas nativas por gramíneas africanas, especialmente *Melinis minutiflora* mas também por *Brachiaria decubens* (Pivello et al., 1999).

Além da perda de biodiversidade, estas mudanças na composição e na biomassa podem influenciar o funcionamento deste ecossistema savânico. Uma maior biomassa de gramíneas significa um estoque maior de combustível durante a seca. Kauffman et al.

(1994) observaram que o fogo em campo sujo e campo limpo tem chamas maiores que em cerrado stricto sensu e atribuem isto a maior biomassa de gramíneas, uma vez que a biomassa total do estrato rasteiro é maior em cerrado, porém com uma composição de espécies menos inflamáveis. Estes autores concluem ainda que a fisionomia do cerrado passa por processos cíclicos que impedem a vegetação de tornar-se mais densa, pois chamas maiores causam maior mortalidade de espécies arbóreas, que por isto não conseguem se estabelecer nestas fisionomias abertas com grandes biomassas de gramíneas inflamáveis.

Se a maior biomassa de gramíneas tem por conseqüência a mortalidade de árvores, é de se esperar que um cerrado fertilizado nos moldes do tratamento N+P aqui apresentado venha a tornar-se uma vegetação mais aberta, neste processo havendo a substituição de espécies lenhosas, que possuem sistema radicular profundo (pelo menos 10 m) e cerca de 50% de sua biomassa alocada em sistemas subterrâneos (Sarmiento, 1983; Abdala et al., 1998; Castro & Kauffman, 1998), por espécies herbáceas de raízes mais superficiais, o que pode resultar na perda de uma substancial fração de água profunda e nutrientes (Oliveira, 1999). A redução do acesso das raízes a este reservatório mais profundo de água acrescido das mudanças nas características aerodinâmicas decorrente da perda de árvores (menor aspereza) e do albedo, pode reduzir significativamente a precipitação nas savanas tropicais (Hoffmann & Jackson, 2000).

Tanto isto, quanto o fato de que há maior transpiração com a maior produção de biomassa destas espécies durante as chuvas, implicam em uma dessecação mais rápida destas gramíneas e uma maior vulnerabilidade ao fogo. A maior transpiração de *M. minutiflora* em relação às gramíneas nativas do Cerrado foi relatada por Aduan (1989).

A vegetação terrestre vem ganhando atenção pela sua potencialidade como sumidouro de carbono atmosférico. Segundo Miranda et al. (1997), isto é especialmente verdadeiro para o cerrado sentido restrito, teve um fluxo máximo de -10 e -15 μmol de CO_2 na seca e na chuva, respectivamente (valores negativos significam fluxo da atmosfera para a vegetação).

A maior incidência de incêndios e a diminuição da frequência de árvores implicaria em perda deste carbono para a atmosfera, contribuindo para o efeito estufa.

A resposta de espécies arbóreas de Cerrado a fertilizações pode alterar a situação hídrica de espécies rasteiras por competição ou ainda por mudança no padrão de ascenso hidráulico, ou seja, transporte vertical de água durante a noite através das raízes para a parte mais superficial do solo. Este fenômeno foi sugerido para o Cerrado por Jackson et al., 1999 e observado por Scholz² (comunicação pessoal). A interceptação de raios solares por uma maior quantidade de folhas produzidas pelas espécies arbóreas também pode ocorrer, assim como, em médio prazo, a variação no tempo de vida de folhas poderia mudar a disponibilidade de nutrientes para o estrato rasteiro. Este estudo mostra apenas uma mudança em curto prazo, sendo necessário acompanhar também as espécies arbóreas para se poder prever um cenário em longo prazo.

² Fabian Scholz, Universidade de Buenos Aires.

6. Conclusões

6.1. Hipótese: A produção das espécies do estrato rasteiro do Cerrado é limitada por nutrientes.

Isto pôde ser comprovado com o aumento da biomassa sob tratamentos de adição de nutrientes (significativamente com a adição de N+P e N), embora os resultados tenham sido significativos apenas para a espécie *E. inflexa*. A hipótese também pôde ser confirmada com o aumento dos teores de Ca, Mg, N e P nos tecidos dos grupos vegetais estudados quando aqueles foram adicionados.

6.2. Hipótese: Há mudança na composição do estrato rasteiro com a adição de nutrientes.

Os grupos dicotiledôneas e monocotiledôneas mudaram as suas proporções sob os efeitos da adição de nutrientes: adicionando-se N+P pôde-se causar uma diminuição da proporção dicotiledôneas/monocotiledôneas neste estrato. O mesmo ocorreu entre as gramíneas de metabolismo C₄ e a gramínea de metabolismo C₃, *E. inflexa*, de forma ainda mais drástica também no tratamento N+P, onde a última aumentou significativamente e as primeiras diminuíram sua biomassa em relação ao controle. Esta vantagem de uma espécie em detrimento de um grupo tão diverso pode implicar em uma considerável perda de biodiversidade. Outra mudança na composição de espécies deveu-se à invasão da espécie alienígena *M. minutiflora* em parcelas fertilizadas.

6.3. A maior disponibilidade de nutrientes provoca maior uso de água.

Foi observada uma mudança na regulação da perda de água em duas espécies freqüentes deste estrato rasteiro. O forte controle estomático durante as horas da tarde no tratamento

N+P em ambas as espécies denuncia a falta de água no solo e uma estratégia de evitar o ressecamento.

7. Bibliografia

- Aduan, R. E. 1998. Relações hídricas de duas espécies de gramíneas nativas e uma introduzida no Cerrado e sua conexão com as consequências da substituição do estrato herbáceo. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Asner, G. P. & Beatty, S. W. 1996. Effects of an African grass invasion on Hawaiian shrubland nitrogen biogeochemistry. *Plant and Soil* 186: 205-211
- 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
- Bilbao, B. & Medina, E.. 1990. Nitrogen-use efficiency for growth in a cultivated African grass and native South American pasture grass. *Journal of Biogeography*. 17:421-425.
- Brady, N. C. & Weil, R. 1998. The nature and properties of soil. 11^aed. Prentice Hall - New Jersey
- Castro, E. A. D. & Kauffman, J. B.. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14:263-283.
- Dias, B. F. S. 1992. *Alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos renováveis*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, Brasília.
- Ehleringer, J. R. & Monson, R. K.. 1993. Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 24:411-39.
- Eiten, G. 1991. What is a herb? (with examples from the tropical "Savanna" of Brazil and the humid temperate zone of Poland). *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel*. 106:288-304.
- Eiten, G. 1994. A vegetação do cerrado. In M. N. o. Pinto (ed.), *Cerrado: Caracterização ocupação e perspectivas*. 17-73. SEMATEC. Editora Universidade de Brasília, Brasília.

- Fellipe, G. M. & Dale, J. E.. 1990. The effects of phosphate supply on growth of plants from the Brazilian Cerrado: Experiments with seedlings of the annual weed, *Bidens gardneri* (Compositae) and the tree *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae). *Oecologia*. 82:81-86.
- Furley, P. A. & Ratter, J. A.. 1998. Soil resources and plant communities of the central Brazilian Cerrado and their development. *Journal of Biogeography*. 15:97-108.
- Garofalo, C.R. 2001. Efeitos do aumento da disponibilidade de nutrientes na dinâmica de nutrientes em plantas lenhosas e solo em uma área de cerrado stricto sensu. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, UnB. 85 pp
- Haridasan, M. 1982. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. *Plant and Soil* 65: 265-273
- Haridasan, M., Pinheiro, A. A. M. C. & Torres F. R. R.. 1997. Resposta de algumas espécies do estrato rasteiro de um cerrado à calagem e à adubação. In L. L. e. S. Leite, C. H. (org.), *Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado. Trabalhos selecionados do 3º Congresso de Ecologia do Brasil*. UnB, Deptº de Ecologia, Brasília.
- Hoffmann, W. A. & Jackson R. B. 2000. Vegetation-climate feedbacks in the conversion of tropical savannas to grassland. *Journal of Climate* 13 (9): 1593-1602
- Jackson, P. C., Meinzer, F. C., Bustamante, M., Goldstein, G., Franco A., Rundel, P. W., Caldas, L., Iglar, E. & Causin, F. 1999. Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian Cerrado ecosystem. *Tree Physiology*. 19:717-724.
- Kauffman, J. B., Cummings, D. L. & Ward, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. *Journal of Ecology* 82:519-531
- Klink, C. A. 1996. Germination and seedling establishment of two native and one invading African grass species in the Brazilian cerrado. *Journal of Tropical Ecology* 12:139-147
- Klink, C. A., Moreira, A. G. & Solbrig, O. T.. 1993. Ecological impact of agricultural development in the Brazilian Cerrados. In M. D. Young e O. T. Solbrig (eds.), *The world savannas*, Vol. 12, pp. 259-282. Parthenon Publishing, London.
- Lambers, H. & Poorter, H.. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research*, 23:187-261.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. 1ª ed. RiMa Artes e Textos, São Carlos. 531 págs.
- Marrs, R. H., Thompson, J., Scott, D. & Proctor, J. 1991. Nitrogen mineralization and nitrification in terra firme forest and savana soils on Ilha de Maracá - Roraima, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*. 7:123-137.

- Matson, P. A., McDowell, W. H., Townsend A. R. & Vitousek P. M., 1999. The Globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments. *Biogeochemistry*. 46:67-83.
- Mendonça, R. C. d., Felfili, J. M., Walter, B. M. T., Silva Júnior M. C. d., Rezende A. V. & Filgueiras T. S. 1998. Flora vascular do Cerrado. In S. M. A. Sano e S. Pedrosa (orgs.), *Cerrado ambiente e flora*, pp. 289-556. Embrapa, Planaltina DF.
- Miranda, A. C., Miranda, H. S., Lloyd, J., Grace, J., Francey, R. J., McIntyre, J. A., P., Meir, P. Riggan, L. R. & Brass J.. 1997. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian Cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell and Environment*. 20:315-328.
- Moreira, A. G., Klink, C. A., Nepstad D. C., Luedemann G., Oliveira R. & Pinto A. S.. 1996. Biomassa de Raízes Grossas de um Cerrado no Distrito Federal, 3º Congresso de Ecologia do Brasil, pp. pág. 461, Brasília - DF.
- Oliveira, R. S. 1999. *Padrões sazonais de disponibilidade de água nos solos de um cerrado denso e um campo sujo e evapotranspiração: o papel das raízes profundas*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, UnB.
- Pivello, V. R., Carvalho, V. M. C., Lopes, P. F., Peccinini, A. A. & Rosso, S. 1999. Abundance and distribution of native and alien grasses in a "Cerrado" (Brazilian Savanna) biological reserve. *Biotropica* 31(1);71-82.
- Pivello, V. R. & Coutinho, L. M. 1992. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in na open cerrado (Brazilian Savanna). *Journal of Tropical Ecology* 8: 487-497
- Ratter, J. A., Ribeiro, J. F. e Bridgewater, S.. 1997. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*. 80:223-230.
- Rawitscher, F. 1948. The water economy of the vegetation of the 'campos cerrados' in southern Brazil. *Journal of Ecology*, 36:237-268.
- Reatto, A., Correia, J. R. & Spera, S. T. 1998. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In S. M. A. Sano e S. Pedrosa (eds.), *Cerrado ambiente e flora*, pp47-86
- Ribeiro, J. F. & B. M. T. Walter. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. In S. M. A. Sano e S. Pedrosa (eds.), *Cerrado ambiente e flora*, pp: 89-166. EMBRAPA, Planaltina, D. F.
- Ricklefs, R. E., 1996. A economia da natureza. 3ª ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 470pp
- Sarmiento, G. 1983. The savannas of tropical America. In E. F. Bourlière (ed.), *Ecosystems of the World*, Vol. 13, pp. pp. 245-288. Elsevier, Amsterdam.

- Scholes, R. J. & Archer, S. R.. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 28:517-44.
- Schulze, E.-D., Kelliher, F. M., Körner C., Lloyd, J. & Leuning, R.. 1994. Relationships among maximum stomatal conductance, ecosystem surface conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition: a global ecology scaling exercise. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 25:629-660.
- Villela, D. M. & Haridasan, M.. 1994. Response of the ground layer community of a Cerrado vegetation in central Brazil to liming and irrigation. *Plant and Soil*. 163:25-31.
- Wedin, D. & Tilman, D. 1993. Competition among grasses along a nitrogen gradient - initial conditions and mechanism of competition. *Ecological monographs*. 63(2): 199-229
- Zar, J. 1999. *Biostatistical analysis*. 4^a ed. Prentice Hall, New Jersey 663 págs