

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA DE TRANSIÇÃO E INTERAÇÕES ENTRE
FITOFISIONOMIAS FLORESTAIS E FORMAÇÕES
VEGETACIONAIS ABERTAS DO BIOMA CERRADO**

LUCAS DE CARVALHO RAMOS SILVA

ORIENTADOR: Professor MUNDAYATAN HARIDASAN

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

Brasília-DF, 12 de Novembro de 2007

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA DE TRANSIÇÃO E INTERAÇÕES ENTRE
FITOFISIONOMIAS FLORESTAIS E FORMAÇÕES
VEGETACIONAIS ABERTAS DO BIOMA CERRADO**

LUCAS DE CARVALHO RAMOS SILVA

APROVADA POR:

Mundayatan Haridasan, PhD, Departamento de Ecologia, UnB
(Orientador – Presidente da Banca Examinadora)

Augusto César Franco, PhD, Departamento de Botânica, UnB
(Membro da Banca Examinadora)

Leonel da S. Lobo Sternberg, PhD, Departamento de Biologia Universidade de Miami, EUA
(Membro da Banca Examinadora)

Christopher William Fagg, PhD, Departamento de Engenharia Florestal, UnB
(Membro suplente da Banca examinadora)

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, LUCAS DE CARVALHO RAMOS

Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma Cerrado. 2007.

168 p., 297mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Ciências Florestais, 2007).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal

- 1. Dinâmica de ecossistemas
- 3. Fitofisionomias do Cerrado

- 2. Solos do Cerrado
- 4. Isótopos estáveis

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, L.C.R. 2007. Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma Cerrado. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 168 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas de Carvalho Ramos Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma Cerrado.

GRAU: Mestre ANO: 2007.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Lucas de Carvalho Ramos Silva
Embrapa Cerrados BR 020 Km 18.
Planaltina, DF - Brasil - CEP 73310-970
Telefone: (61) 84310118
Endereços eletrônicos: lucasrs@cpac.embrapa.br, lucasrsilva@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Mundayatan Haridasan, a quem devo grande admiração e respeito, que vão muito além dos ensinamentos acadêmicos. Aos grandes amigos e excepcionais profissionais Ricardo Flores Haidar e Grabriel Damasco do Vale pelo auxílio no trabalho de campo e identificações botânicas. Aos professores Leonel Sternberg da Universidade de Miami-EUA, William A. Hoffmann da Universidade Estadual da Carolina do Norte-EUA, Fernando Miralles da Universidade Internacional da Flórida-EUA, Augusto César Franco e Fabian Borghetti do departamento de Botânica da UnB, José Carlos Sousa e Silva do departamento de Engenharia Florestal da UnB e EMBRAPA Cerrados e à Betânia Tarley Porto de Matos Góes analista ambiental da RECOR - IBGE, pelas valiosos comentários, contribuições e apoio logístico durante a execução dos trabalhos. Aos colaboradores e amigos Daniel Magnobosco Marra, Gabriel Henrique Pires de Mello Ribeiro, Davi Rossatto, Erika Geiger, Camila Aparecida Lima, Frederico Takahashi, Amartya Saha, Arthur Orelli, Tamiel Jacobson, Yamara Alves de Macedo, Mara Chaves, Vanessa dos Anjos, Sara Mariano, Sayuri Mendes, Julia Fagundes e Cristiane Pinheiro. Aos meus velhos amigos que são como minha família e aos membros da minha família que são como velhos amigos.

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação Nacional de Ciências dos EUA (NSF), projetos N^os DEB-0542912 (W.H.) e EAR-BE-332051 (L.S., M.H., F.M-W, A.F.); e pela Fundação AW Mellon, EUA, (W.H.). Os trabalhos de campo e análise de dados contaram ainda com o apoio e infra-estrutura das seguintes instituições:

EMBRAPA CERRADOS – CPAC
RESERVA ECOLÓGICA DO RONCADOR – RECOR IBGE
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
UNIVERSIDADE DE MIAMI – UM
IBAMA-DF
CIPLAN, FERCAL-DF

Todas as atividades de coleta e análise de material vegetal, realizadas neste estudo, estão de acordo com as exigências das autoridades ambientais brasileiras. (Licença IBAMA n^os 06BR000049/DF, 07BR001153/DF).

Aos que do *antro* desviam o *centro* dedico,

“Todo futuro é fabuloso”
(Alejo Carpentier)

“A atração do conhecimento seria mínima, se não houvesse tanto pudor a vencer no caminho até ele.”
(Friedrich Nietzsche)

“Que ninguém se engane, só se consegue a simplicidade através de muito trabalho”
(Clarice Lispector)

O que seria da ciência sem os conselhos de sua velha mãe, a arte.

RESUMO

Apesar da aparente estabilidade e das relações de interdependência que existem entre solos e vegetação, a distribuição de ecossistemas pode ser dinâmica e estar em constante evolução. No bioma Cerrado onde se destaca a complexidade da paisagem, que engloba diversas fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas, essa possível dinâmica de ecossistemas torna-se ainda mais relevante, dado o contexto atual de mudanças climáticas e a contínua transformação dos ambientes naturais pela atividade humana. No presente estudo foram investigados, em áreas preservadas no Distrito Federal, aspectos relacionados a mudanças na cobertura vegetacional, adaptabilidade de espécies lenhosas e interações entre solos e vegetação, utilizando-se três diferentes abordagens. Na primeira delas, o objetivo foi testar a hipótese de que pode ocorrer expansão florestal sobre áreas de vegetação aberta. Para tanto, foram avaliados transectos estabelecidos em zonas de interface entre o cerrado e as fitofisionomias florestais: cerradão, mata semidecídua e matas de galeria. A análise do índice de área foliar de plantas arbóreas e gramíneas mostrou em todas as transições, mudanças bruscas na estrutura da vegetação, dentro de faixas de 20 m, que tiveram alta correlação com a composição isotópica de carbono, $\delta^{13}\text{C}$, da matéria orgânica do solo superficial, que nas fisionomias abertas apresentou assinatura isotópica significativamente mais enriquecida em ^{13}C do que os solos das florestas. Analisando-se essa composição de isótopos em diferentes profundidades dos perfis dos solos, foi demonstrada a expansão das matas de galeria sobre áreas antes ocupadas por vegetação aberta. A datação com ^{14}C indica que essa expansão das matas de galeria teve início há aproximadamente 3000 anos e continuou ocorrendo até pelo menos 390 anos atrás. Por outro lado, a área florestal da mata semidecídua apresentou sinais de redução de sua área, enquanto entre cerradão e cerrado a transição permaneceu estável.

Em uma segunda abordagem, as características de espécies florestais, estabelecidas em áreas de cerrado, foram comparadas às de espécies de cerrado do mesmo gênero. Foram avaliados 18 pares congenéricos, amostrados em áreas naturais de vegetação aberta, para testar as hipóteses de que as espécies florestais possuem maior área foliar específica, menor eficiência no uso de água e maior concentração de nutrientes nos tecidos. A área foliar específica foi maior nas espécies florestais e a análise da composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$ de troncos e folhas, mostrou que não há diferenças significativas na eficiência do uso de água entre gêneros ou entre espécies florestais e de cerrado. Os nutrientes foliares, N, P e K,

foram mais elevados nas espécies florestais, enquanto no tronco houve diferença significativa apenas no teor de N, mais elevado nas espécies de cerrado. Foram também verificadas diferenças significativas no teor de nutrientes entre os gêneros estudados e não houve correlação entre nutrientes nas plantas e no solo, apesar dos solos sob as espécies florestais terem apresentado maiores teores de C orgânico e N total, além de uma maior disponibilidade de P e Ca.

Na terceira abordagem utilizada foram avaliadas características de espécies lenhosas nativas estabelecidas naturalmente no cerrado e nas fitofisionomias florestais: cerradão, mata semidecídua e matas de galeria. Foram amostradas, ao todo 17 espécies arbóreas, todas encontradas no cerrado e em pelo menos uma das fisionomias florestais, com no mínimo três indivíduos em cada fisionomia. O objetivo desta amostragem foi testar a hipótese de que o teor de nutrientes nos tecidos e a área foliar específica são mais elevados, enquanto a eficiência no uso de água é menor, nos indivíduos estabelecidos em ambientes florestais em comparação com o cerrado. As maiores concentrações de N, P, K, Ca e Mg nos solos foram verificadas na mata semidecídua e as menores no cerradão e no cerrado que não diferiram entre si. As plantas estabelecidas nas fisionomias florestais, inclusive no cerradão, apresentaram maiores concentrações de nutrientes foliares do que as estabelecidas no cerrado. Apenas o Ca teve concentrações correlacionadas nos solos e nas folhas, sendo as plantas da mata semidecídua as que apresentaram os maiores teores. Os menores valores de área foliar específica e a maior eficiência no uso de água foram verificados na comunidade de cerrado. Entre as fisionomias florestais, os maiores valores de área foliar específica e os menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram registrados nas matas de galeria, onde as plantas foram menos eficientes no uso de água em comparação à mata semidecídua e ao cerradão. Os nutrientes do tronco e a densidade da madeira não responderam às variações entre ambientes, mas apresentaram diferenças significativas entre as espécies avaliadas.

ABSTRACT

In spite of the apparent stability of the borders and the interdependence between soil and vegetation, the distribution of ecosystems in nature could be dynamic and in constant evolution. In the Cerrado biome where the complexity of landscape encompasses different forest physiognomies and open vegetation forms, such possible changes become more relevant in the present day context of climate change and constant transformation of natural environments by human interventions. In the present study conducted in preserved areas of natural vegetation in the Federal District of Brazil, aspects related to changes in vegetative cover, adaptations of woody species, and interactions between soil and vegetation were investigated using three different approaches. The objective of the first study was to test the hypothesis that forest expansion could occur at the expense of surrounding open vegetation forms. To test this hypothesis transects established along transitions between the open form of cerrado and three forest physiognomies (two gallery forests, a semideciduous forest and a *cerradão*) were investigated. Leaf area index of woody species and grasses showed sharp changes in the vegetation structure within 20m of the border into the forest or the cerrado and was correlated with isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}$ of organic matter in the top soil. The top soil of the open cerrado had an isotope signature with significantly higher ^{13}C than forest soils. The isotopic composition of soil organic matter from different depths up to one meter showed that gallery forests were expanding over open cerrado and ^{14}C dating showed that this expansion started around 3000 years ago and continued as recently as 390 years before present. The semideciduous forest, on the other hand, lost area while the *cerradão*-cerrado boundary remained stable.

In the second study, characteristics of forest and cerrado species occurring naturally in the open formation of cerrado were compared. Eighteen pairs of congeneric species were sampled in native cerrado communities to test the hypothesis that forest species growing in open environments have higher specific leaf area, lower water use efficiency and higher nutrient concentrations than their cerrado counterparts. Specific leaf area was higher in forest species but isotopic composition, $\delta^{13}\text{C}$ data for stems and leaves, did not show any significant differences in water use efficiency between forest and cerrado species. Foliar concentrations of N, P and K were higher in forest species whereas in the case of stems N was higher in cerrado species. Nutrient concentrations varied significantly also among genera and there was no correlation between soil and tissue concentrations of nutrients,

although the sites under forest species had higher soil organic matter, total N and available P and Ca.

In the third study, characteristics of native species occurring naturally in the open physiognomy of cerrado and different forest formations were compared. Seventeen woody species occurring in the cerrado and at least in one of the forest formations of gallery forest, semideciduous forest or cerradão were sampled to test the hypothesis that nutrient tissue concentrations and specific leaf area were higher and water use efficiency lower in the plants in forest formations than in open cerrado. The highest concentrations of N, P, K, Ca and Mg were found in the soils of semideciduous forest and lowest in the cerradão and cerrado. Trees in forest formations, including cerradão, had higher nutrient concentrations than in the cerrado. Significant soil-plant correlation was observed only in Ca concentrations with the highest tissue concentrations of Ca in the semideciduous forest. Lower specific leaf area and higher $\delta^{13}\text{C}$ in cerrado was evidence of higher water use efficiency in the open formation than in the forests. Gallery forests had lower water use efficiency than the semideciduous forest and the cerradão. In spite of interspecific variations in stem density and nutrient concentrations there were no significant variations due to vegetation physiognomy.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO..... 1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 4

CAPÍTULO I - DINÂMICA DE TRANSIÇÕES ENTRE FORMAÇÕES FLORESTAIS E CERRADOS NO DISTRITO FEDERAL

1 - INTRODUÇÃO.....	7
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 - ÁREAS DE ESTUDO	11
2.2 - AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE DADOS.....	14
3 - RESULTADOS	21
3.1 – COBERTURA VEGETACIONAL ATUAL.....	21
3.2 – GRADIENTES EDÁFICOS ENTRE FLORESTAS E CERRADOS.....	22
3.3 – COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS DE ESTUDO	34
3.4 – MUDANÇAS DA VEGETAÇÃO NO PASSADO	38
4 – DISCUSSÃO	45
4.1 – COBERTURA VEGETACIONAL E GRADIENTES EDÁFICOS ATUAIS.....	45
4.2 – MUDANÇA DA VEGETAÇÃO NO PASSADO	50
4.3 – MECANISMOS DE EXPANSÃO DAS MATAS DE GALERIA	56
4.4 – O PAPEL DA EXPANSÃO DAS MATAS COMO POSSÍVEL SUMIDOURO DE CARBONO	57
5 – CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS ESTABELECIDAS NATURALMENTE EM ÁREAS DE CERRADO NO DISTRITO FEDERAL

1 - INTRODUÇÃO.....	72
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	76
2.1 - ÁREAS DE ESTUDO E ESPÉCIES AVALIADAS	76
2.2 - PARÂMETROS AVALIADOS E ANÁLISE DE DADOS	77

3 - RESULTADOS	81
3.1 – PROPRIEDADES QUÍMICAS E TEXTURA DOS SOLOS	81
3.2 - ESTADO NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS FOLIARES	84
3.3 - ESTADO NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS DO TRONCO	92
4 – DISCUSSÃO	98
5 – CONCLUSÕES	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

**CAPÍTULO III - CARACTERÍSTICAS DE ESPÉCIES LENHOSAS EM DIFERENTES
FITOFISIONOMIAS DO BIOMA CERRADO**

1 - INTRODUÇÃO	121
2 - MATERIAL E MÉTODOS	125
2.1 - ÁREAS DE ESTUDO E ESPÉCIES AVALIADAS	125
2.2 - PARÂMETROS AVALIADOS E ANÁLISE DE DADOS	126
3 - RESULTADOS	129
4 – DISCUSSÃO	148
5 – CONCLUSÕES	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Saturação por bases do solo nas transições entre cerrado e formações florestais.....	24
Tabela 2.1- Pares congenéricos de espécies características de cerrado e de fisionomias florestais, amostrados em áreas de vegetação aberta.....	77
Tabela 2.2 – Parâmetros foliares avaliados em 18 pares congenéricos de espécies características do cerrado e de ambientes florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....	85
Tabela 2.3 – Área foliar específica, $\delta^{13}\text{C}$ e teor de nutrientes foliares dos gêneros amostrados em áreas de vegetação aberta, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....	86
Tabela 2.4. Parâmetros do tronco avaliados em 18 pares congenéricos de espécies características do cerrado e de ambientes florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....	93
Tabela 2.5 – Densidade da madeira, $\delta^{13}\text{C}$ e teor de nutrientes no tronco dos gêneros amostrados em áreas de vegetação aberta, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....	94
Tabela 3.1 – Lista das espécies estudadas e ambientes onde foram amostradas.....	125
Tabela 3.2 – Características foliares das espécies amostradas em áreas de cerrado e fitofisionomias florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....	141
Tabela 3.3 - Área foliar específica e teor de $\delta^{13}\text{C}$ e nutrientes foliares das espécies encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado no Distrito Federal. Valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....	142

Tabela 3.4 - Características do tronco das espécies amostradas em áreas de cerrado e fitofisionomias florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....144

Tabela 3.5 - Densidade da madeira, teor de $\delta^{13}\text{C}$ e nutrientes no tronco das espécies encontradas em diferentes fitofisionomias do cerrado no Distrito Federal. Valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.....145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Transições entre cerrado e formações florestais estudadas no Distrito Federal. (1-Transição entre cerrado e mata semidecídua, Fercal; 2-Transição entre cerrado e cerradão, Planaltina; 3-Transições entre cerrado e matas de galeria, Reserva Ecológica do Roncador, IBGE, onde, A-mata de galeria do Taquara e B-mata de galeria do Pitoco. Fontes: Imagem LANDSAT 2004 (órbita 221; ponto 71) e google)	12
Figura 1.2- Mapa de solos do Distrito Federal (Reatto <i>et al.</i> 2004) e localização das áreas de estudo. (1-Transição entre cerrado e mata semidecídua, Fercal; 2-Transição entre cerrado e cerradão, Planaltina; 3-Transições entre cerrado e matas de galeria, Reserva Ecológica do Roncador, IBGE).....	13
Figura 1.3- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e a mata de galeria do córrego do Taquara, RECOR-IBGE, Brasília-DF	15
Figura 1.4- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e a mata de galeria do córrego do Pitoco, RECOR - IBGE, Brasília - DF	16
Figura 1.5- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e a mata semidecídua, Fercal-DF.....	17
Figura 1.6- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e cerradão, Planaltina-DF	18
Figura 1.7 – Variação na cobertura de árvores/arbustos e gramíneas nas transições entre formações florestais e áreas de cerrado	21
Figura 1.8 – Densidade aparente do solo nos perfis da borda e a 50 m de distância da borda dentro das áreas de cerrado e das formações florestais	24
Figura 1.9 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre a mata de galeria do Taquara e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.	28
Figura 1.10 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre mata de galeria Pitoco	

e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.	29
Figura 1.11 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre mata semidecídua e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias .	30
Figura 1.12 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerradão e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	31
Figura 1.13 - Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre a mata de galeria do Taquara e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam o desvios-padrão das médias.....	32
Figura 1.14 - Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre a mata de galeria do Pitoco e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	32
Figura 1.15 – Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre mata semidecídua e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	33
Figura 1.16 - Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre cerradão e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	33
Figura 1.17 – Correlação entre pH do solo e concentrações médias de P, K, Ca e Mg disponíveis, em diferentes profundidades (0 – 100 cm) dos solos de formações florestais e áreas de cerrado adjacentes.....	35
Figura 1.18 - Correlação entre teor de carbono orgânico e valores médios de pH do solo, N total, P e Al disponíveis em diferentes profundidades (0 – 100 cm) dos solos de formações florestais e áreas de cerrado adjacentes	36
Figura 1.19 – Conteúdo total de carbono estocado até 100 cm de profundidade no solo das transições entre formações florestais e áreas de cerrado. Letras diferentes representam	

diferenças significativas entre cerrado e floresta ($p<0,01$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	37
Figura 1.20 – Correlação entre o $\delta^{13}\text{C}$ (%) do solo superficial (0-10 cm) e índice de área foliar de gramíneas, árvores e arbustos das transições entre cerrado e formações florestais	38
Figura 1.21 – Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, do solo superficial (0-10 cm) nas diferentes áreas de transição entre cerrado e formações florestais	39
Figura 1.22 – Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerrado e mata de galeria do Taquara	43
Figura 1.23 - Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerrado e mata de galeria do Pitoco.....	43
Figura 1.24 - Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerrado e mata semidecídua	44
Figura 1.25 - Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerrado e cerradão	44
Figura 1.26 – Área total e perímetro atual das matas de galeria na área da reserva ecológica do IBGE, Brasília – DF, e simulação de área e perímetro em caso de expansão ou contração das matas em 10 m de distância das atuais bordas	59
Figura 2.1 – Utilização do trado na extração de baguetas do tronco das espécies amostradas, para análise química e de densidade da madeira	79
Figura 2.2 – Teor de N total, P, K, Ca, Mg, Al e Fe disponíveis, C orgânico e pH do solo, nas três áreas de cerrado amostradas. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p<0,05$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.....	82
Figura 2.3 – Propriedades dos solos sob pares congenéricos de plantas características de cerrado e ambientes florestais, em cada um dos locais de estudo. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias, *($p<0,05$), **($p<0,01$) e ns (diferença não significativa) para comparações de médias entre espécies florestais e de cerrado.....	83

Figura 2.4 – Diagrama de classificação textural dos solos dos três locais de estudo, sob espécies de cerrado e florestais, com base nos percentuais de argila e areia, de acordo com EMBRAPA (1999)	84
Figura 2.5 – Área foliar específica (AFE) de espécies congêneres características de cerrado e de formações florestais, estabelecidas em áreas de vegetação aberta. Níveis de significância referem-se ao teste t de student, * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$) e ns (diferença não significativa). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	88
Figura 2.6 – Relação entre área foliar específica (AFE) e nutrientes foliares de espécies congenéricas florestais e de cerrado, estabelecidas em áreas de cerrado sentido restrito. Linhas de regressão pontilhadas representam a correlação para espécies de cerrado	89
Figura 2.7 – Teor de nutrientes foliares de espécies congêneres características de cerrado e de ambientes florestais, em áreas de cerrado sentido restrito. Níveis de significância referem-se ao teste t de student, * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$) e ns (não significativa). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	90
Figura 2.8 – Composição isotópica do carbono foliar de espécies congenéricas características de cerrado e de formações florestais, estabelecidas em áreas de cerrado sentido restrito. Níveis de significância referem-se ao teste t de student, * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$) e ns (diferença não significativa). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.....	91
Figura 2.9 – Correlação entre área foliar específica (AFE) e $\delta^{13}\text{C}$ foliar de espécies congenéricas características de cerrado e de ambientes florestais, estabelecidos em áreas de cerrado sentido restrito. A linha de regressão refere-se às espécies florestais	92
Figura 2.10 – Relação entre nutrientes nas folhas e no tronco de espécies congenéricas características de cerrado e de ambientes florestais, estabelecidas em áreas de vegetação aberta. Linhas de regressão contínuas, correspondem às espécies florestais e pontilhadas às espécies de cerrado	96

Figura 2.11 – Relação entre nutrientes no solo e nos tecidos vegetais, tronco e folhas, de espécies congenéricas características de cerrado e de ambientes florestais, estabelecidas em áreas de vegetação aberta	97
Figura 3.1 – Teores médios foliares de N, P, K, Ca e Mg das plantas amostradas nas diferentes fitofisionomias estudadas, considerando-se todas as espécies. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$) e barras de erros correspondem aos desvios-padrão das médias	128
Figura 3.2 – Correlação entre concentrações foliares de N e P de 17 espécies lenhosas encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias referentes a cada um dos eixos	129
Figura 3.3- Correlação entre concentrações foliares de Ca e Mg de 17 espécies lenhosas encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias referentes a cada um dos eixos	130
Figura 3.4 – Teores médios de N, P, K, Ca e Mg no tronco das plantas amostradas nas diferentes fitofisionomias estudadas, considerando-se todas as espécies amostradas. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$). Barras de erros representam desvios-padrão das médias.....	131
Figura 3.5 – Correlação entre concentrações de N e P no tronco de 17 espécies lenhosas encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias referentes a cada um dos eixos	131
Figura 3.6 – Valores médios de área foliar específica (AFE) e da composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, foliar. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	132
Figura 3.7 – Valores médios de densidade da madeira e da composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, do tronco. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias	133

Figura 3.8 – Correlação entre área foliar específica (AFE) e $\delta^{13}\text{C}$ do tecido vegetal (tronco e folhas), e correlação entre $\delta^{13}\text{C}$ foliar e do tronco. Onde a curva de regressão em função de AFE representa correlação com folhas	133
Figura 3.9 – Correlação entre nutrientes nos troncos e folhas, considerando-se valores médios das espécies amostradas em todas a fitofisionomias estudadas. Curvas de regressão representam correlações onde o coeficiente de determinação (r^2) foi superior a 0,1 134	
Figura 3.10 – Correlação entre nutrientes nas plantas (tronco e folhas) e área foliar específica (AFE) considerando-se valores médios das espécies amostradas em todas as fitofisionomias estudadas. Curvas de regressão representam correlações onde o coeficiente de determinação (r^2) foi superior a 0,1	135
Figura 3.11- Valores médios de pH, C orgânico, N total, P, K, Ca, Mg, Al e Zn disponíveis no solo superficial (0-10 cm) das fitofisionomias estudadas. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$) e barras de erro correspondem aos desvios-padrão das médias	137
Figura 3.12 – Correlação entre nutrientes nas plantas (tronco e folhas) e nutrientes nos solos, considerando-se valores médios das espécies amostradas em todas as fitofisionomias estudadas. A curva de regressão representa correlações entre os teores de Ca no solo e nas folhas	138
Figura 3.13 – Diagrama textural de classificação dos solos com base no percentual de argila e areia, de acordo com EMBRAPA (1999)	139

INTRODUÇÃO

As diferentes formas de vegetação e sua distribuição na biosfera obedecem, em uma escala global, ao controle exercido pelo clima, onde a relação entre pluviosidade e temperatura, determina padrões estruturais da vegetação por toda superfície terrestre (Whittaker 1975). Por outro lado, quando avaliados os sistemas naturais em escalas locais, podem ser verificados sob a influência de um mesmo clima, fatores que levam a grandes variações na cobertura vegetacional. No bioma Cerrado, por exemplo, observa-se um complexo mosaico de paisagens, com acentuadas variações fitofisionômicas que acompanham gradientes ambientais em escala local (Eiten 1984; Furley 1992).

O Cerrado se estende por mais de 20 graus de latitude, ocupando diferentes bacias hidrográficas e grande variedade de solos, que dão suporte a diversos tipos de ecossistemas, que variam desde formações abertas, subdivididas entre formações campestres e savânicas, até fisionomias florestais, ambientes muitas vezes ocorrem lado a lado (Ribeiro e Walter 1998). Segundo Coutinho (1978) as variações fisionômicas do bioma Cerrado devem-se a fatores físico-químicos do solo, geomorfológicos, topográficos, pastoreio e queimadas. De acordo com Haridasan (1992), as diferenças fisionômicas, vistas hoje, podem ter sido determinadas pelo estado nutricional do solo no passado. Já Eiten (1984) atribuiu os gradientes fisionômicos da vegetação a condicionantes como, efeitos indiretos do clima, disponibilidade de água, latitude, freqüência de queimadas, profundidade do lençol freático e ações antrópicas.

Apesar de aparentemente esclarecidas algumas dessas relações entre formas de vegetação e atributos ambientais, os processos ecológicos que as estruturam são pouco conhecidos e podem contribuir para a dinâmica entre ecossistemas. Estudos realizados com a utilização de ferramentas paleoecológicas já mostraram grandes transformações ambientais e vegetacionais ao longo das últimas eras, inclusive em biomas brasileiros (Santiago *et al.* 2005; Martinelli *et al.* 1996; Victoria *et al.* 1995). No entanto, a importância dessas transformações não se restringe ao passado. A preocupação mundial com as consequências das atuais mudanças do clima e as recentes polêmicas como as que cercam a possibilidade de savanização de florestas tropicais demonstram isso (De Toledo e Bush 2007, Bush e Lovejoy 2007, Berrio *et al.* 2002, Behling *et al.* 2001). Sendo, novos estudos que envolvam possíveis dinâmicas da vegetação de extrema relevância nesse contexto.

No caso específico do bioma Cerrado, atualmente predominam as formações abertas, ou cerrados, classificadas pela maioria dos autores como formações savânicas (Ribeiro e Walter 1998), as quais podem fazer fronteiras com formações florestais de forma abrupta, normalmente em transições de extensão inferior a 50 m (Hopkins 1992, Furley 1992). Pouco se sabe, no entanto, sobre possíveis movimentações nessas fronteiras, as quais normalmente são tratadas como transições estáticas, dada a grande influência dos solos na região, onde se admite o conceito de clímax edáfico, ou seja, onde as características dos solos determinam a comunidade clímax em um dado sítio (Eiten 1984).

A vegetação, contudo, não somente está associada ao tipo de solo, mas também influencia as características deste. Distinções entre espécies, relativas à demanda nutricional, por exemplo, podem afetar ativamente a fertilidade do solo, influenciando assim, todo o ecossistema (Chapin *et al.* 1997). Pinheiro e Monteiro (2006) sugerem que o estabelecimento de espécies florestais em áreas de cerrado pode inclusive promover a expansão de florestas. Já, de acordo com Larcher (2000), atributos do solo e da comunidade de plantas que sobre ele se desenvolve são interdependentes, de modo que, assim como as propriedades dos solos direcionam o desenvolvimento da vegetação e esta, por sua vez, contribui para determinar singularidades edáficas como as que são observadas entre fisionomias savânicas e florestais.

Nessa discussão se confunde, portanto, a hierarquia entre os condicionantes ambientais e os efeitos da vegetação sobre o meio físico. Aspectos relacionados à plasticidade e à adaptabilidade das espécies a diferentes condições ambientais são aqui também pertinentes. Fatores como disponibilidade de água, nutrientes e luminosidade que variam de acordo com a fitofisionomia (Eiten 1984; Reatto *et al.* 1998; Mendonça *et al.* 1998), influenciam diretamente a fisiologia e ecologia das espécies, as quais, por sua vez, possuem em função de sua história evolutiva limitações à ocupação de nichos específicos, ou, um potencial de ampla distribuição (Reich *et al.* 1997; Wright *et al.* 2001; Hoffmann e Franco 2003).

Nesse sentido, além do estudo da dinâmica da vegetação, compreender características das espécies e suas possíveis respostas a diferentes condições ambientais, torna-se fundamental para determinação do grau de fragilidade dos ambientes naturais e seus potenciais de resistência e resiliência. Vários autores sugerem para essa finalidade, o estudo comparativo de espécies congenéricas como ferramenta para esclarecimento dos fatores ecológicos e

históricos que contribuíram para a diversidade e estrutura das comunidades vegetais de hoje (Gottlieb *et al.* 1966; Ayres e Ryan 1999; Hoffmann e Franco 2003; Hoffmann *et al.* 2005). Para o mesmo fim o estudo de uma seleção de espécies, submetida a diferentes variações de condicionantes ambientais poderia ser sugerido. Ambas, perspectivas que tem muito a contribuir para o melhor entendimento dos processos envolvidos na heterogeneidade das paisagens e fitofisionomias do Cerrado.

Buscando abranger os pontos fundamentais dos complexos processos envolvidos nas dinâmicas da vegetação e suas interações com o meio físico em ambientes naturais no Cerrado, o presente estudo teve por objetivo discutir três abordagens distintas. Na primeira delas foi avaliada a dinâmica em interfaces entre fitofisionomias florestais e vegetação aberta savânica, ou cerrado, testando-se a hipótese de que as fisionomias florestais estão em expansão. Em uma segunda abordagem foram estudados os mecanismos que permitem o estabelecimento de espécies de origem florestal em áreas de cerrado e suas distinções quanto a espécies congêneres características deste ambiente, onde foi testada a hipótese de que as espécies florestais, quando comparadas às de cerrado, possuem maior área foliar específica, menor eficiência no uso de água e maior teor de nutrientes nas folhas e nos troncos. Na terceira abordagem foi avaliada a plasticidade de espécies estabelecidas naturalmente em diferentes fitofisionomias, sujeitas a condições ambientais distintas, testando-se a hipótese de que o teor de nutrientes nas folhas e troncos e a área foliar específica são menores em plantas estabelecidas no cerrado, enquanto a eficiência no uso de água é menor nas espécies estabelecidas em florestas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRES D.R., RYAN F.J. (1999). Genetic diversity and structure of the narrow endemic *Wyethia reticulata* and its congener *W. bolanderi* (Asteraceae) using RAPD and allozyme techniques. American Journal of Botany, 86, 344-353.
- BEHLING, H., KEIM, G., IRION, G., JUNK, W. & NUNES DE MELLO, J. (2001) Holocene environmental changes in the central Amazon Basin inferred from Lago Calado (Brazil). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 173, 87–101.
- Berrio J.C., HOOGHIEMSTRA H., BEHLING H., BOTERO P. & VAN DER BORG K. (2002). Late Quaternary savanna history of the Colombian Llanos Orientales from Lagunas Chenevo and Mozambique: a transect synthesis. The Holocene, 12, 35–48.
- BUSH M.B., LOVEJOY T.E. (2007). Amazonian conservation: pushing the limits of biogeographical knowledge. Journal of Biogeography 34, 8, 1291–1293.
- CHAPIN F.S., WALKER B.H., HOOBS R.J., HOOPER D.U., LAWTON J.H., SALA O.E., TILMAN D. (1997). Biotic control over the functioning of ecosystems. Science. 277, 63-87.
- COUTINHO L.M. (1978). O conceito de Cerrado. Revista Brasileira de Botânica, 1, 17-23.
- DE TOLEDO M.B., BUSH M.B. (2007). A mid-Holocene environmental change in Amazonian savannas. Journal of Biogeography 34, 8, 1313-1326.
- EITEN G. (1984). Vegetação do Cerrado. In: Cerrado: caracterização ocupação e perspectiva (M.N. PINTO, eds.) pp. 9-65. SEMATEC/UnB, Brasília.
- FURLEY P.A. (1992). Edaphic changes at the forest-savanna boundary with particular reference to the neotropics. In: Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries (P.A. Furley, J. Proctor, J.A. Ratter, eds.) pp.91-115. Chapman e Hall, London.

GOTTLIEB O.R., MEDITSCH J. de O., MAGALHÃES M.T. (1966). Com vistas ao aproveitamento do cerrado como ambiente natural: composição química de espécies arbóreas. Anais da Academia Brasileira de Ciências (Suplemento), 38, 303-314.

HARIDASAN M. (1992). Observations on soils, foliar nutrient concentrations and floristic composition of cerrado sensu stricto and cerradão communities in central Brazil. In: Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries (P.A. Furley, J. Proctor, J.A. Ratter, eds.) pp. 171–184. Chapman e Hall, London.

HOFFMANN W.A., FRANCO A.C. (2003). Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically-independent contrasts. Journal of Ecology 91, 475–484.

HOFFMANN W.A., MOREIRA M.C., FRANCO A.C. E HARIDASAN M. (2005). Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. Functional Ecology 19, 932–940.

HOPKINS B. (1992). Ecological processes at the forest-savanna boundary. Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries (P.A. Furley, J. Proctor e J.A. Ratter, eds.), pp. 21–30. Chapman e Hall, London.

LARCHER W. (2000). Ecofisiologia vegetal. São Carlos, RiMa, 531 p.

MARTINELLI L.A., PESSENCIA L.C.R., ESPINOZA E. (1996). Carbon-13 depth variation in soil of Brazil and relations with climate changes during The Quaternary. Oecologia, 106, 376-381.

MENDONÇA R., FELFILI, J.M., WALTER B.M.T., SILVA-JÚNIOR M.C., REZENDE A.V., FILGUEIRAS T.S., NOGUEIRA, P.E.N. (1998). Flora lenhosa do bioma cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. (SANO S.M., ALMEIDA S.P., orgs.) pp. 287-556. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

PINHEIRO M.H.O., MONTEIRO R. (2006). Contribution of Forest Species to the Floristic Composition of a Forested Savanna in Southeastern Brazil. Brazilian Archives of Biology and Technology, 49 5, 763-774.

REATTO A., CORREIA J.R., SPERA, S.T. (1998). Solos do bioma Cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. (SANO, S.M., ALMEIDA, S.P. orgs.) pp. 47-86. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

REICH P., WALTERS M.B., ELLSWORTH D.S. (1997). From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 94, 13730–13734.

RIBEIRO J.F., WALTER B.M.T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. (SANO S.M., ALMEIDA S.P., orgs.) pp. 89-166. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

SANTIAGO L.S., SILVERA K., ANDRADE J.L., DAWSON T.E. (2005). El uso de isotopos estables en biología tropical. Interciência 30, 9, 28-35.

VICTORIA R.L., FERNANDES F., MARTINELLI L.A., PICCOLO M.C., CAMARGO P.B., TRUMBORE S. (1995). Past vegetation changes in the Brazilian Pantanal arboreal - grassy savanna ecotone by using carbon isotopes in the soil organic matter. Global Change Biology 1, 165-171.

WHITTAKER R.H. (1975). Communities and Ecosystems (2nd ed.). Macmillan, New York.

WRIGHT I.J., REICH P.B., WESTOBY M. (2001). Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. Functional Ecology 15, 423–434.

CAPÍTULO I - DINÂMICA DE TRANSIÇÕES ENTRE FORMAÇÕES FLORESTAIS E CERRADOS NO DISTRITO FEDERAL

1 - INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado ocorre na zona tropical da América do Sul, desde os limites inferiores da Floresta Amazônica, até os estados de São Paulo e Paraná na região sul-sudeste do Brasil. Adicionalmente pequenas áreas no leste da Bolívia e no nordeste do Paraguai compõem a ecorregião do Cerrado, que se estendia originalmente por mais de 2 milhões de km² (Oliveira-Filho e Ratter 1995). O bioma é composto predominantemente por formações abertas, ou savânicas, das mais variadas estruturas, também classificadas como cerrado *lato sensu*. A presença de formações florestais, no entanto, é responsável pela cobertura de áreas expressivas, sempre circundadas por cerrados ou campos (Eiten 1972, 1979, 1984, 1990). Os cerrados, normalmente se encontram associados a relevos que variam de suaves a levemente ondulados, com solos profundos, bem drenados e de baixa fertilidade. Entretanto, áreas campestres podem ocorrer sob solos mal drenados, onde o lençol freático aflora regularmente, o que impede o estabelecimento de espécies arbóreas.

As formações florestais do bioma Cerrado incluem o cerradão (classificado como uma floresta xeromórfica), florestas estacionais que englobam matas decíduas e semidecíduas, também conhecidas como matas secas, além das matas de galeria. O cerradão ocorre sobre solos profundos, distróficos ou mesotróficos, com dossel que varia de 7 a 15 m de altura, podendo chegar a 20 m para algumas espécies e cobertura arbórea em torno de 70% (Eiten 1990). Sua composição florística consiste, em grande parte, de uma mistura de espécies do cerrado sentido restrito, com espécies de matas de galeria e florestas estacionais (Mendonça *et al.* 1998).

As florestas estacionais ocupam 15% do bioma (Felfili 2003), na maioria dos casos, associadas a solos recentes, pouco profundos e de maior fertilidade, desenvolvidos a partir de rochas básicas. Normalmente, as matas que ocorrem sobre afloramento de rocha são decíduas, perdendo totalmente as folhas na estação seca, enquanto parte das que ocorrem em solos planos e encostas são semidecíduas, mantendo cobertura de 50% ou mais durante a seca (Motta *et al.* 2002a).

As matas de galeria formam uma rede florestal perenifólia ao longo dos cursos de água, responsável por 5 % da cobertura total do Cerrado (Ribeiro e Walter 2001). Em seu interior verifica-se cobertura arbórea de 80 a 100%, sendo comum a presença de espécies da mata Atlântica, floresta Amazônica e matas da bacia do rio Paraná (Oliveira-Filho e Ratter 1995). As matas de galeria variam muito quanto a sua composição florística dentro de gradientes ambientais específicos como topografia, disponibilidade hídrica e nutricional, podendo ainda, ser mais heterogêneas dentro de uma mesma floresta onde existam gradientes na disponibilidade de recursos, do que áreas localizadas em florestas distintas, onde a disponibilidade destes seja semelhante (Silva 1991, Silva Júnior 1995, Parron 2004).

Alguns autores não consideram as formações florestais como fisionomias integrantes do bioma Cerrado admitindo, entretanto, que estas são parte importante do também chamado domínio Cerrado (Coutinho 2006). Seja qual for o conceito de bioma empregado, as formações florestais e de vegetação aberta, ocorrem lado a lado na região, onde propriedades edáficas como carbono orgânico, cátions e acidez trocáveis, podem refletir de com precisão a distribuição desses ecossistemas (Furley 1992, Pinto *et al.* 2006). No entanto, a evolução e organização da paisagem também respondem a outros fatores como variações topográficas, freqüência de fogo e demais efeitos do impacto antrópico, elementos importantes para o entendimento dos padrões de distribuição das diversas fitofisionomias encontradas (Coutinho 1978; Haridasan 1992).

Embora a distribuição das fitofisionomias seja normalmente explicada em função das variações ambientais, principalmente características do solo, a vegetação também pode afetar profundamente o ambiente ao seu redor, modificando diretamente o clima em escala local e regional (Oyama e Nobre 2003, Sternberg 2001) bem como características específicas dos solos, como a distribuição e retenção de nutrientes nos perfis (Jobbagy e Jackson 2004, Chapin *et al.* 1997). Essa relação de interdependência entre ambiente e vegetação fundamenta a idéia de que as zonas de transição entre formações abertas e formações florestais podem modificar-se ao longo do tempo.

Vários autores têm discutido o processo histórico de contração e expansão dos ecossistemas brasileiros como possível fator resultante das mudanças climáticas do passado (Ab'Saber 1977, Whitmore e Prance 1987, Prado e Gibbs 1993, Oliveira-Filho e

Ratter 1995). Esses trabalhos, entretanto, baseiam-se em evidências florísticas, como a composição e distribuição de espécies dos diferentes biomas e regiões do Brasil ou América do Sul e não fornecem dados precisos sobre a história ou mecanismos envolvidos na dinâmica de ecossistemas em escalas menores.

No caso específico do bioma Cerrado as transições entre fisionomias florestais e áreas abertas são bruscas, de modo que é nítida a separação entre uma vegetação e outra, sendo essas transições, normalmente compreendidas em distâncias inferiores a 50 m (Hopkins 1992). Nesses locais, em virtude da proximidade entre os ecossistemas, existe a possibilidade da floresta avançar sobre o cerrado, do cerrado avançar sobre a floresta ou da fronteira permanecer estável. Observações feitas em transições com características semelhantes, em diferentes localidades do mundo, como em regiões da América do Sul (San José e Montes 1997; Dussart *et al.* 1998), Austrália (Burrows *et al.* 1990, 1998), África (Schwartz *et al.* 1996; Palmer e van Rooyen 1998) e Índia (Puyravaud *et al.* 1994) registraram recentes expansões de áreas florestais sobre fisionomias de vegetação aberta.

Em contrapartida, no Distrito Federal, Nascimento *et al.* (2002) verificaram que áreas hoje ocupadas por formações savânicas de estruturas distintas: cerrados ralo, denso e típico, foram no passado, cobertas por uma mesma fitofisionomia, que mais se assemelha a um cerrado ralo, demonstrando assim um aumento na densidade de plantas lenhosas em duas das áreas estudadas. Já Rêgo (1998) também no DF constatou mudanças ocorridas na vegetação da floresta estacional da APA do Cafuringa, cujos resultados apontam grandes oscilações no tipo de cobertura da vegetação ao longo do tempo e recente retração da área florestal, de 2500 anos atrás até o momento presente, em detrimento à expansão de uma fitofisionomia, onde a presença de gramíneas predomina na composição da vegetação.

Percebe-se, portanto, que não estão claras as tendências de mudança da paisagem dentro do bioma Cerrado. Além disso, não existem informações disponíveis na literatura sobre a estabilidade das zonas de transição, mesmo em escalas menores, entre áreas de vegetação aberta e as diversas fitofisionomias florestais existentes no bioma. Dessa forma, visando contribuir ao melhor entendimento dessas possíveis dinâmicas vegetacionais, no presente estudo foram avaliadas algumas localidades no DF onde são encontradas interfaces entre vegetação aberta e diferentes fisionomias florestais.

Áreas de cerrado em transição com matas de galeria, floresta estacional semidecídua e cerradão, foram caracterizadas quanto à estrutura da vegetação atual, à relação da cobertura vegetacional com o ambiente edáfico e quanto ao tipo de vegetação que ocupava essas interfaces no passado. Testando-se as hipóteses de que as bordas, ou zonas de transição entre florestas e áreas de vegetação aberta, não são estáveis e que as florestas estão expandindo.

Para a avaliação dessas mudanças potenciais na vegetação, foram estabelecidos transectos no sentido dos gradientes vegetacionais e avaliada a relação entre a composição isotópica de carbono da matéria orgânica em diferentes profundidades do solo e sua relação com as variações na estrutura da vegetação atual. A discussão dos resultados incluiu a estimativa cronológica de quando essas mudanças ocorreram, feita por datação com ^{14}C da matéria orgânica do solo, além da discussão sobre os mecanismos ligados à dinâmica vegetacional e possíveis influências exercidas pelo clima e pelas características físicas e químicas dos solos nesse processo.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - ÁREAS DE ESTUDO

A escolha das áreas de estudo visou a localização de sítios representativos de cada uma das fitofisionomias florestais do bioma Cerrado: matas de galeria, florestas estacionais (mata semidecídua) e cerradão. Uma vez selecionadas as áreas dos diferentes ecossistemas florestais, seguiu-se a localização de áreas adjacentes de formações vegetacionais abertas, não campestres, que aqui trataremos pela denominação de cerrados.

Para avaliar as transições entre cerrado e matas de galeria foram escolhidas duas localidades distintas, a mata de galeria do córrego do Taquara ($15^{\circ}57'4,9''S$ e $47^{\circ}53'20,6''W$) e mata de galeria do córrego do Pitoco ($15^{\circ}55'52''S$ e $47^{\circ}52'44''W$), ambas situadas dentro da Reserva Ecológica do Roncador, IBGE em Brasília – DF. Já as transições entre cerrado e as fisionomias florestais, cerradão e mata semidecídua estão localizadas nas áreas da EMBRAPA-Cerrados em Planaltina – DF ($15^{\circ}36'31,97''S$ e $47^{\circ}42'36,26''W$), e na área na área da CIPLAN, Fercal – DF, ($15^{\circ}33'39,97''$ e $47^{\circ}51'53,42''W$) respectivamente (Figura 1.1).

Cada uma das localidades escolhidas apresenta características edáficas particulares. A transição entre cerrado e mata semidecídua é a única em que se verifica a presença de solo de origem recente, Argissolo Vermelho-amarelo equivalente eutrófico (Reatto *et al.* 2004). Já as áreas de transição entre cerrado, matas de galeria e cerradão localizam-se sobre solos altamente intemperizados, como Latossolos e solos Hidromórficos (Figura 1.2). Apesar disso, na mata de galeria do Taquara, estabelecida sobre solo Hidromórfico, a condição de fertilidade pode ser, em algumas áreas, considerada intermediária (Silva 1991, Silva Júnior 1995) o que ocorre em virtude de faixas de material sedimentar aluvial originado no Quaternário (Motta *et al.* 2002a), enquanto na mata do Pitoco assim como no cerradão, com predomínio de Latossolo Vermelho-escuro, bem drenado, os solos apresentam sempre baixa fertilidade (Ribeiro 1983, Silva Júnior 2001).

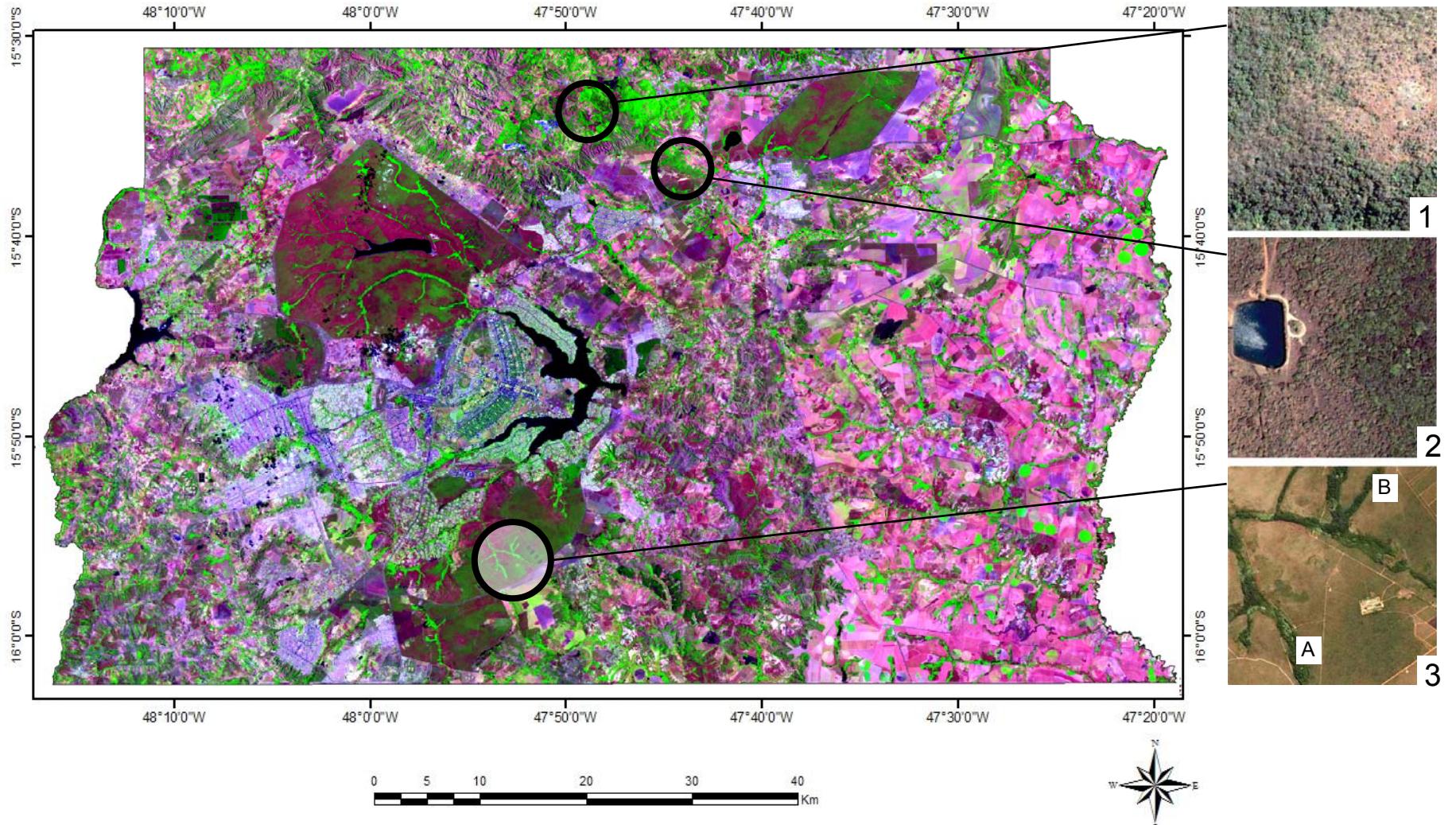


Figura 1.1 – Transições entre cerrado e formações florestais estudadas no Distrito Federal. (1-Transição entre cerrado e mata semidecídua, Fercal; 2-Transição entre cerrado e cerradão, Planaltina; 3-Transições entre cerrado e matas de galeria, Reserva Ecológica do Roncador, IBGE, onde A-mata de galeria do Taquara e B-mata de galeria do Pitoco. Fontes: Imagem LANDSAT 2004 (órbita 221; ponto 71) e google).

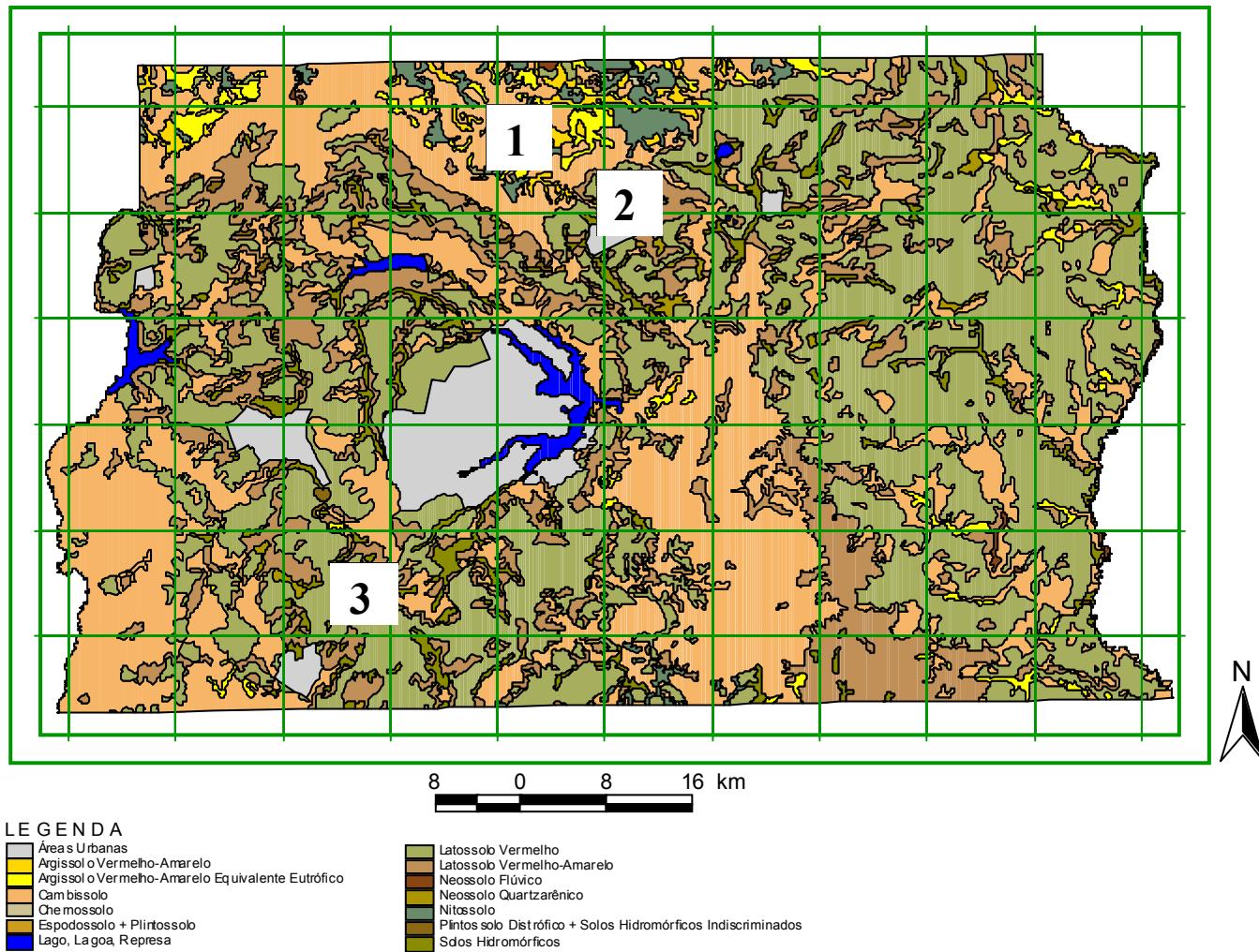


Figura 1.2- Mapa de solos do Distrito Federal (Reatto *et al.* 2004) e localização das áreas de estudo. (1-Transição entre cerrado e mata semidecídua, Fercal; 2-Transição entre cerrado e cerradão, Planaltina; 3-Transições entre cerrado e matas de galeria, Reserva Ecológica do Roncador, IBGE).

2.2 - AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE DADOS

Em cada uma das interfaces entre vegetação de cerrado e fisionomias florestais estudadas, foi definida a borda entre as vegetações, e em sentido perpendicular a esta foi estabelecido um transecto de 100 m de comprimento, sendo 50 m em área de cerrado e 50 m em área de floresta. A definição da borda foi feita, visualmente, quando da interrupção da cobertura de gramíneas. Em todos os transectos estabelecidos essa interrupção foi brusca e coincidiu com incremento da altura do dossel e o adensamento da vegetação arbórea, marcando o início das formações florestais (Figura 1.3 a 1.6).

Com a finalidade de caracterizar o gradiente de vegetação nas transições, a cada 10 m ao longo dos transectos, foi determinado o índice de área foliar (IAF) para cobertura arbóreo-arbustiva, bem como para cobertura de gramíneas. Este índice estima a razão entre a área foliar total de uma comunidade, por unidade de área do terreno. Para determiná-lo foi utilizada uma técnica indireta, a fotografia hemisférica em câmera digital com lente do tipo “olho de peixe” acoplada a um computador portátil. Posteriormente as imagens da cobertura vegetacional foram processadas no programa *Digital Plant Canopy Imager - CI-110* (CID, Inc.) para determinação do índice (Norman e Campbell 1989). Essas medições foram feitas no final da estação chuvosa, em março, de 2007.

Para a determinação do IAF da cobertura arbóreo-arbustiva, procedeu-se a tomada de fotografias, de baixo para cima, a 1 m de altura do solo. Imediatamente após, seguiu-se no mesmo ponto a tomada de fotografia ao nível do solo para a determinação do índice para a cobertura de gramíneas. Neste caso foram retiradas outras plantas herbáceas do raio de alcance da lente fotográfica. Depois de calculado o índice ao nível do solo, este foi subtraído do anteriormente calculado para árvores e arbustos, o que permitiu gerar um índice que considerasse apenas a cobertura de gramíneas (Hoffmann *et al.* 2005).

A cada 10 m ao longo transecto foram tomadas amostras de solo, em intervalos de 10 em 10 cm, até que se atingisse um metro de profundidade. No caso de solos mais rasos, a amostragem foi feita até que a profundidade máxima fosse atingida. Cada uma das amostras foi caracterizada quanto ao teor de carbono orgânico; composição isotópica de carbono, saturação por bases, macro e micronutrientes. Foi também determinada a densidade aparente do solo, de 10 em 10 cm até 1 m de profundidade na borda, a 50 m da borda dentro do cerrado e a 50 m dentro da floresta em cada transecto (Figura 1.3 a 1.6).



Interface entre cerrado e mata de galeria



Solo a 50 m da borda na mata de galeria



Solo a 50 m da borda no cerrado

Figura 1.3- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e a mata de galeria do córrego do Taquara, RECOR-IBGE, Brasília-DF.



Interface entre cerrado e mata de galeria



Solo a 50 m da borda na mata de galeria



Solo a 50 m da borda no cerrado

Figura 1.4- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e a mata de galeria do córrego do Pitoco, RECOR - IBGE, Brasília - DF.



Interface entre cerrado e mata semidecídua



Solo a 50 m da borda na mata semidecídua



Solo a 50 m da borda no cerrado

Figura 1.5- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e a mata semidecídua, Fercal-DF.



Interface entre cerrado e cerradão



Solo a 50 m da borda no cerradão



Solo a 50 m da borda no cerrado

Figura 1.6- Aspecto da vegetação e dos solos na transição entre cerrado e cerradão, Planaltina-DF.

A disponibilidade de P, K e dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) foi determinada de acordo com Mehlich (1953) em extração ácida (0,05 M H₂SO₄ + 0,05 M HCl), e medida com o espectrofotômetro uv-visível, fotômetro de chama e espectrofotômetro de absorção atômica. Os nutrientes Ca, Mg e o Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl (1M), o Al foi determinado por titulação ácido-base com NaOH (0,01 M) e os elementos Ca e Mg, em espectrofotômetro de absorção atômica. Para o cálculo da saturação por bases foi utilizada também a acidez potencial (H+Al) obtida com extração por C₄H₆CaO₄ (0,5 M) seguida de titulação ácido-base com NaOH (0,02 M) de acordo com EMBRAPA (1997, 2005). O N teve seu teor total no solo estimado pelo método Kjeldahl de acordo com Bremner e Mulvaney (1982) com digestão completa a 350° C seguida de titulação com H₂SO₄ (0,07 M). O percentual de carbono orgânico foi calculado pelo método da oxidação por via úmida (Walkley e Black, 1934), o pH foi medido numa solução 1:2,5 de solo-água e a densidade aparente determinada, pela razão entre a massa seca e o volume, de amostras de solo indeformadas (EMBRAPA 2005).

Foi estimado ainda o estoque total de carbono no solo, até 1 m de profundidade, nas áreas de floresta, borda e cerrado. Essa estimativa foi feita com base no teor de carbono orgânico de cada camada de 10 cm de profundidade, considerando-se sua respectiva densidade. O teor de carbono orgânico é dado em percentual (%) em relação à massa de solo. Dessa forma, extrapolando-se a partir dos valores de densidade a massa total do solo, que tem volume de 1000 m³ ha⁻¹ (em cada camada de 10 cm de profundidade) pôde-se estimar o estoque de carbono em toneladas, ou mega gramas por hectare.

Para testar a estabilidade das fronteiras entre os ecossistemas ao longo do tempo, foram determinadas as contribuições relativas de isótopos de ¹²C e ¹³C na matéria orgânica do solo em diferentes profundidades dos perfis nos transectos. A composição isotópica foi determinada no Laboratório de Isótopos Estáveis, LSIETE, do Departamento de Biologia da Universidade de Miami, Flórida - EUA. As amostras de solo foram secas, peneiradas em peneiras de 0,8 mm e analisadas em um analisador elementar (Eurovector-Milão, Itália) acoplado a espectrômetro de massa (Isoprime IRMS-Manchester, Inglaterra). Nas amostras de solo da mata semidecídua, procedeu-se a retirada de carbonatos, com lavagem por 30 minutos com uma solução de HCl (1M). A proporção entre isótopos foi expressa em relação a um padrão internacional de referência (PDB), sendo os valores isotópicos

representados pela notação δ que fornece a variação per mil (%) do isótopo de ^{13}C , seguindo-se a equação: $\delta^{13}\text{C} = [((^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{amostra}} - (^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{PDB}}) / (^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{PDB}}] \cdot 1000$

A utilização desta técnica para determinar a mudança da vegetação no passado baseia-se em dois preceitos básicos. Primeiramente, que a matéria orgânica encontrada na composição estrutural do solo representa uma ordem cronológica em relação direta com a profundidade, ou seja, quanto mais profunda, mais antiga a matéria orgânica do solo (Victoria *et al.* 1995, Sanaiotti *et al.* 2002). Em segundo lugar, que a assinatura isotópica de carbono, ou seja, a razão entre ^{12}C e ^{13}C do solo superficial, difere quando comparam-se vegetações abertas e florestais.

Este segundo preceito baseia-se na diferenciação que existe na proporção de ^{12}C e ^{13}C fixados, de acordo com o grupo de plantas. Plantas C_3 e C_4 , arbóreas e gramíneas respectivamente, fixam carbono em proporções isotópicas distintas em virtude de diferenças na anatomia foliar e nas concentrações das enzimas carboxilases, RUBISCO e PEPcarboxilase. Essas diferenças fazem com que plantas C_4 quando comparadas às plantas C_3 discriminem menos quanto ao C^{13} , ou seja, apresentem-se proporcionalmente mais enriquecidas em C^{13} (Smith e Epstein 1971). Dessa forma fitofisionomias que se distingam quanto à composição de plantas C_3 e C_4 , como cerrado e floresta, por exemplo, apresentarão diferenças também na composição de isótopos de carbono na matéria orgânica do solo.

Para verificar se houve mudança na cobertura vegetacional no passado, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nas diferentes profundidades dos perfis, foram comparados aos valores obtidos na camada superficial do solo (0-10cm), que serão aqui considerados como os valores da assinatura isotópica típica da vegetação atual. Cada uma das áreas de cerrado e de fisionomias florestais teve, sua assinatura isotópica típica determinada, que ao ser comparada com os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos em solos mais profundos, permitiu avaliar se houve substituição de um tipo de vegetação por outro. Quando os resultados encontrados mostraram-se consistentes na demonstração de mudanças entre as áreas de cerrado e floresta, foi feita também a análise da composição isotópica de ^{14}C , que permitiu a estimativa de quando essas ocorreram. A datação por carbono 14 foi realizada no laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory em Miami, Flórida, EUA, e foi feita também a partir do carbono orgânico contido no solo.

3 – RESULTADOS

3.1 – COBERTURA VEGETACIONAL ATUAL

O índice de área foliar (IAF) mostrou as diferenças estruturais que existem ao longo das transições entre cerrado e formações florestais (Figura 1.7). A mata de galeria do córrego do Pitoco apresentou a maior cobertura de árvores entre as fisionomias avaliadas com IAF superior a 4 m^2 de folhas por 1 m^2 de superfície de solo. Seguiram-se a esta a mata de galeria do córrego do Taquara (3,5), o cerradão (< 3) e com os menores índices de cobertura arbórea, a mata semidecídua (~ 2), que já apresentava alguma deciduidade na ocasião das medições. Nas áreas de cerrado os valores de IAF da cobertura de gramíneas, muitas vezes acima de 2, foram sempre superiores aos da cobertura arbórea, que nessas áreas apresentaram valores entre 0 e 1.

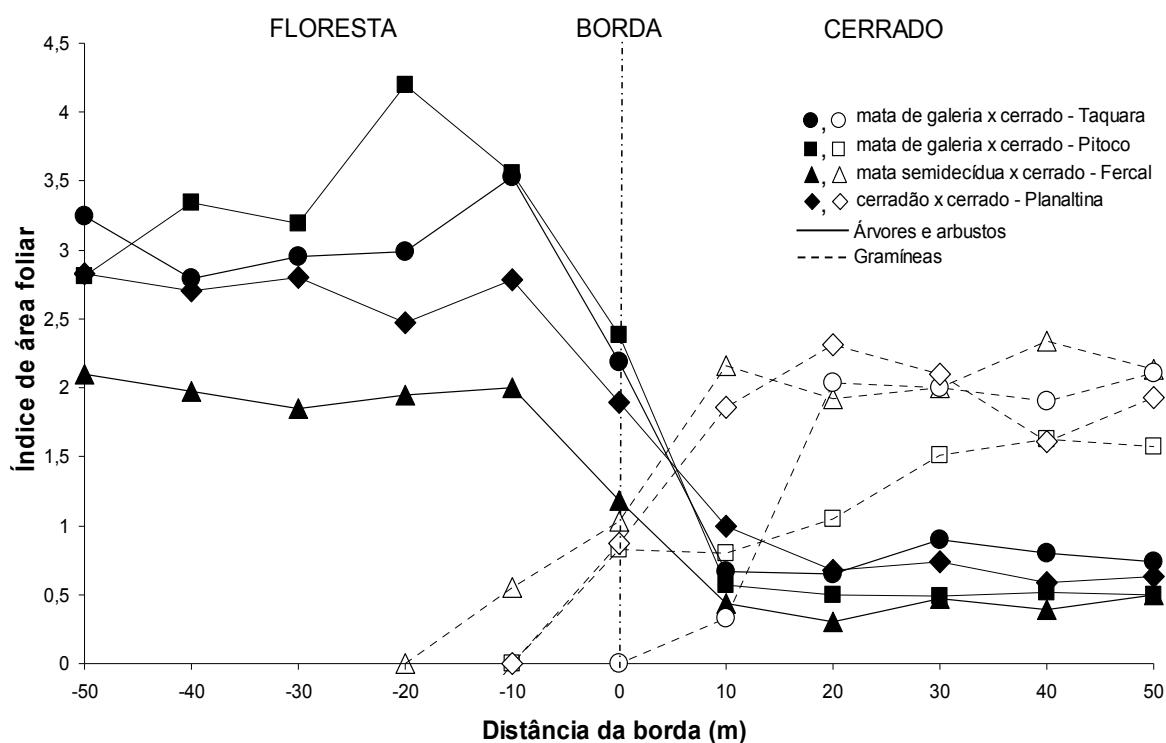


Figura 1.7 – Variação na cobertura de árvores/arbustos e gramíneas nas transições entre formações florestais e áreas de cerrado.

Nas áreas não florestais a borda marcou o início de uma cobertura herbácea contínua. Entretanto, na transição entre cerrado e a mata de galeria do Taquara, a cobertura de gramíneas, diferentemente das demais transições, iniciou-se no cerrado apenas após 10 m de distância da borda (Figura 1.7). Apesar disso, o índice de área foliar confirma a escolha

das bordas feita visualmente. Uma vez que o ponto zero no eixo x (Figura 1.7) mostra-se intermediário entre florestas e de cerrado, tanto para o índice de área foliar da cobertura de gramíneas, quanto da cobertura arbórea. Dessa forma, os resultados apresentados neste estudo considerarão *borda*, como sendo o ponto zero no eixo x da figura 1.7. Já os resultados que serão discutidos em referência às florestas ou cerrados, considerarão as áreas ao longo dos transectos, que distem no mínimo 10 m da borda, em direção a cada uma dessas fitofisionomias.

3.2 – GRADIENTE EDÁFICO ENTRE FLORESTAS E CERRADOS

Transições entre matas de galeria e cerrado.

A saturação por bases nas duas matas de galeria foi, de um modo geral, superior à verificada nas áreas de cerrado (Tabela 1.1). Entretanto, na transição entre cerrado e mata do Taquara, a partir de 20 cm de profundidade, observou-se diminuição da saturação na mata e no cerrado, que passaram a ser muito próximas e em alguns casos superiores no solo de cerrado. Já na transição com a mata do Pitoco os perfis apresentaram saturação por bases mais elevada, nas maiores profundidades. Nesta transição, os valores verificados na borda foram muito próximos aos vistos nos solos de mata. Enquanto na borda da transição do Taquara, os valores encontrados foram semelhantes aos verificados na área de cerrado.

As maiores diferenças na densidade aparente do solo verificadas entre as matas de galeria e áreas de cerrado, foram vistas na mata do Taquara, onde os valores de densidade da mata e da borda foram inferiores aos do cerrado. Já na transição entre cerrado e a mata do Pitoco o solo do cerrado, da borda e da mata, apresentaram valores de densidade bastante próximos, não havendo distinção clara entre os perfis (Figura 1.8).

As maiores variações entre o solo de cerrado e o da mata de galeria do córrego do Taquara devem-se principalmente ao percentual de carbono orgânico e às concentrações de Ca, N e Al. Os teores médios de carbono orgânico nos solos da mata (6,6 a 12,2 %) representaram, em alguns casos, mais de 10 vezes os encontrados nos solos sob cerrado (1 a 2,6 %). O teor de Ca, $1,4 \text{ cmol}(+)dm^{-3}$ para superfície do solo da mata e próximo a $0,2 \text{ cmol}(+)dm^{-3}$ em profundidades maiores que 50 cm, também foi muito superior às concentrações no solo de cerrado que variaram entre $0,02$ e $0,08 \text{ cmol}(+)dm^{-3}$. O N variou entre 0,45 e 0,92 % na

mata e de 0,06 a 0,19 % no cerrado. Já o Al apresentou valores entre 4,8 e 6,8 cmol(+)dm⁻³ no solo da mata e entre 0,18 e 1,5 cmol(+)dm⁻³ no solo sob cerrado. No perfil da borda os teores nutricionais foram próximos aos valores obtidos nos solos de mata, com exceção do K com valores intermediários e do Ca e Mg, cujos valores observados aproximaram-se mais dos solos de cerrado (Figura 1.9).

As diferenças entre mata e cerrado na transição do Taquara foram mais acentuadas nas camadas superficiais. Onde o carbono orgânico e o N total, além de P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, apresentaram maiores concentrações no solo superficial, e acentuado decréscimo com o aumento da profundidade, enquanto os teores nutricionais dos solos de cerrado apresentaram menor variação, em alguns casos, sem qualquer mudança com a profundidade. A exceção a este padrão foi verificada para a acidez do solo, onde o pH variou entre 5 e 5,5 com tendência de incremento com o aumento da profundidade nos perfis tanto na mata quanto no cerrado (Figura 1.9).

A transição entre cerrado e a mata de galeria do córrego do Pitoco, apresentou também maiores concentrações de nutrientes no solo superficial, que decresceram com o aumento da profundidade. São exceções o P, que variou entre 3 e 5 mg kg⁻¹, com distribuição irregular nos perfis de solo sob a mata e o pH, que da mesma forma observada na mata do Taquara, mostrou tendência de incremento com o aumento da profundidade (Figura 1.10). Nesta transição na área sob cerrado o solo foi menos ácido, com pH variando entre 5,4 e 5,7 enquanto na mata a variação ficou entre 4,7 e 4,9.

De um modo geral as variáveis estudadas no perfil da borda se aproximam mais dos valores obtidos nos solos sob cerrado, somente Ca e Mg apresentam concentrações na borda mais próximas às da mata de galeria. Os teores médios de Ca nos solos da mata variaram entre 0,05 e 0,4 cmol(+)dm⁻³ e de Mg entre 0,06 e 0,4 cmol(+)dm⁻³. Já nos solos sob cerrado o Ca variou de concentrações não detectáveis até 0,09 cmol(+)dm⁻³ e o Mg apresentou valores entre 0,02 e 0,13 cmol(+)dm⁻³. As concentrações de carbono orgânico e N total, além de P, K e Al disponíveis, apresentaram na mata valores que superaram entre duas e cinco vezes, os verificados no solo sob cerrado (Figura 1.10).

Tabela 1.1- Saturação por bases do solo nas transições entre cerrado e formações florestais.

Profundidade (cm)	SATURAÇÃO POR BASES, %					
	MATA DE GALERIA E CERRADO - TAQUARA			MATA DE GALERIA E CERRADO - PITOCO		
	Floresta	Borda	cerrado	Floresta	Borda	cerrado
0-10	6,6	3,0	3,3	8,3	12,9	6,0
10-20	3,5	1,5	3,0	6,7	6,3	5,3
20-30	2,3	0,8	2,6	5,2	5,7	6,2
30-40	1,6	0,7	2,3	4,6	5,6	4,3
40-50	1,4	0,6	2,3	5,7	6,8	5,5
50-60	1,3	0,5	1,4	4,9	5,5	5,7
60-70	1,3	0,3	1,6	5,5	7,5	2,1
70-80	1,3	0,4	1,6	5,6	9,9	5,9
80-90	1,3	0,6	1,9	12,6	11,3	6,6
90-100	1,4	0,4	2,7	11,6	11,5	7,8

Profundidade (cm)	MATA SEMIDEcíDUA E CERRADO - FERCAL			CERRADÃO E CERRADO - PLANALTINA		
	Floresta	Borda	cerrado	Floresta	Borda	cerrado
0-10	99,0	98,8	100	1,6	3,4	4,1
10-20	98,2	97,7	100	1,1	1,9	2,5
20-30	97,4	97,7	100	0,8	1,2	1,8
30-40	93,3	91,6	100	0,7	1,2	1,5
40-50	90,7	90,2	100	0,7	1,1	1,5
50-60	56,4	91,4	97,7	0,8	0,8	1,2
60-70	46,0	91,6	100	0,5	1,1	1,3
70-80	33,5	100	97,2	0,6	0,8	1,1
80-90	34,7	100	100	0,6	1,0	1,0
90-100	30,3	100	99,2	0,6	0,9	1,6

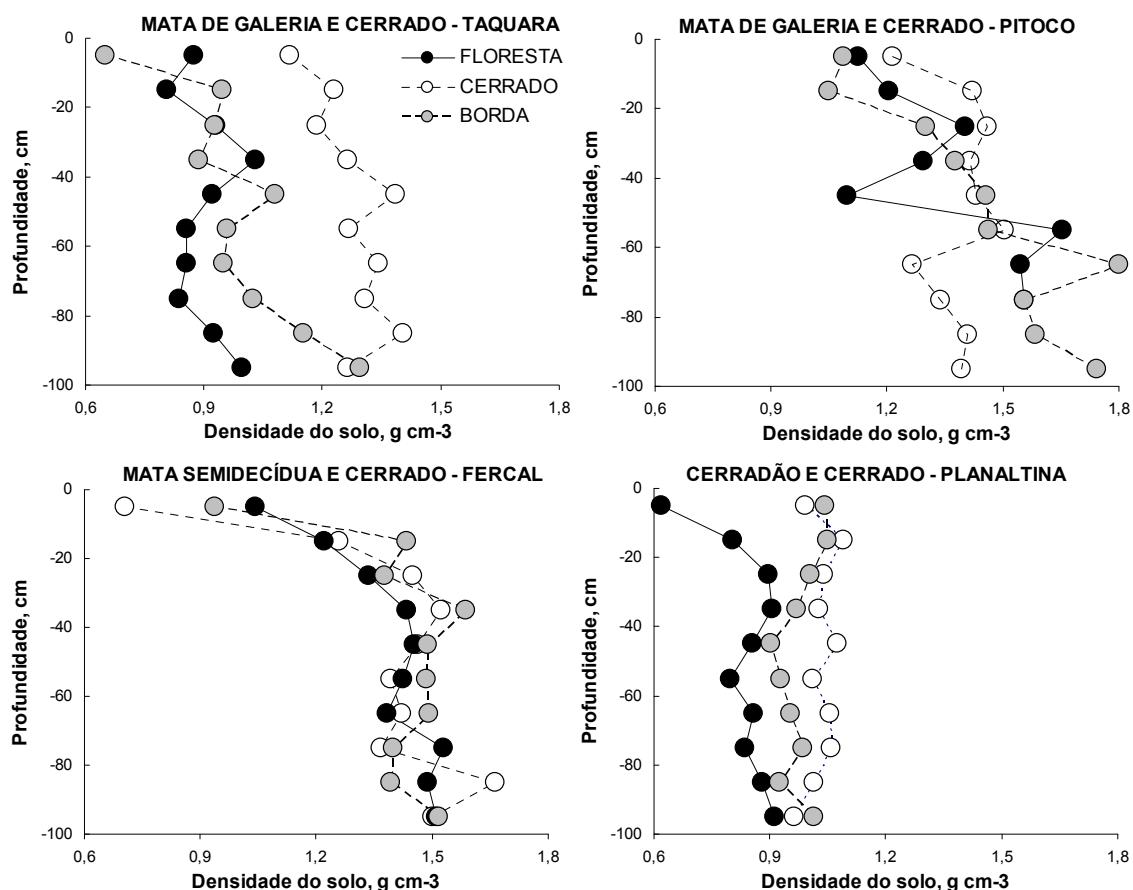


Figura 1.8 – Densidade aparente do solo nos perfis da borda e a 50 m de distância da borda dentro das áreas de cerrado e das formações florestais.

Os micronutrientes analisados não apresentaram padrões claros de distribuição ao longo dos perfis na transição entre o cerrado e a mata de galeria do Taquara (Figura 1.13). As concentrações de Fe foram marcadamente superiores nos solos de cerrado assim como foram pouco superiores as concentrações de Mn e Cu nos perfis deste ambiente. Essas diferenças, entretanto, tenderam a diminuir com o aumento da profundidade, onde as concentrações entre cerrado e mata tornaram-se semelhantes. O Zn dentre os micronutrientes foi o único a apresentar maior concentração no solo de mata ($3,7\text{mg kg}^{-1}$) com diferença pronunciada do solo sob cerrado ($0,8\text{ mg kg}^{-1}$) que, no entanto, restringiu-se à camada superficial do solo.

Na transição entre o cerrado e a mata do Pitoco, os micronutrientes, com exceção do Fe, apresentaram maiores valores nos solos da mata em todas as profundidades analisadas (Figura 1.14). O Fe apresentou valores médios nas camadas superficiais do solo maiores no cerrado (112 mg kg^{-1}) do que na mata (69 mg kg^{-1}), mas com o aumento da profundidade essas concentrações tornaram-se semelhantes. O Cu, Zn e o Mn, apresentaram pouca variação nos perfis de solo sob cerrado, com concentrações estáveis da superfície até 1 m de profundidade, enquanto as concentrações destes micronutrientes nos solos de mata apresentaram maior variação e tendência de decréscimo com o aumento da profundidade. Os valores verificados para borda foram mais próximos dos verificados no cerrado no caso do Cu, enquanto Zn e Mn tiveram os valores da borda mais semelhantes aos verificados no solo de mata (Figura 1.14).

Transição entre mata semidecídua e cerrado.

Nesta transição a saturação por bases foi sempre muito próxima ou igual a 100% nos perfis do cerrado e da borda. Esses valores também foram verificados nos perfis da mata, no entanto, apresentaram brusca queda a partir de 50 cm, chegando a 30 % em 1 m de profundidade (Tabela 1.1). Os valores de densidade foram semelhantes em qualquer dos perfis analisados, sendo verificado na mata, no cerrado e na borda, sensível aumento da densidade do solo conforme o aumento da profundidade nos perfis (Figura 1.8).

Todos os macronutrientes analisados assim como a concentração de carbono orgânico, Al e valores de pH foram mais elevados no solo superficial, com diferentes graus de redução nessas concentrações conforme aumento da profundidade (Figura 1.11). Os solos apresentaram-se alcalinos nos perfis da mata, da borda e do cerrado, com pH variando

entre 7 e 8, até 50 cm de profundidade. A partir desta profundidade o pH na mata apresentou forte redução chegando a 5,5 enquanto os solos da borda e do cerrado foram sempre superiores a 6,5. Os teores de carbono orgânico foram diferenciados quanto aos solos de mata e de cerrado, chegando a 4 % no solo superficial da mata, mais que o dobro do verificado nos solos de cerrado. O carbono orgânico no perfil de solo da borda apresentou concentrações sempre muito próximas às dos solos sob cerrado (Figura 1.11).

Os nutrientes N, P e Ca apresentaram diferenciação nas camadas superiores dos solos entre mata e cerrado. No solo superficial o Ca apresentou concentração média de 8,85 cmol(+)dm⁻³ na mata enquanto foi verificado no cerrado 6 cmol(+)dm⁻³. O N apresentou valores superiores a 0,4 % na mata, mais que o dobro do teor verificado no cerrado e o P chegou a 13,5 mg kg⁻¹ na mata e a 8,3 mg kg⁻¹ no cerrado (Figura 1.11). Os teores de Mg e K também foram diferentes entre solos de mata e de cerrado/borda. Os valores de Mg para os solos da mata variaram entre 0,5 e 1,2 cmol(+)dm⁻³, enquanto os de cerrado permaneceram entre 0,1 e 0,6 cmol(+)dm⁻³, já o K variou de 117 a 175 mg kg⁻¹ na mata e de 37 a 121 mg kg⁻¹ no cerrado.

O Al apresentou distribuição nos perfis, distinta dos demais elementos analisados. Tanto os solos da mata semidecídua quanto os de borda e do cerrado não apresentaram quantidades detectáveis de Al até 50 cm de profundidade. A partir desta profundidade houve incremento dos teores de Al, apenas no solo da mata, que atingiram valor máximo de 1,2 cmol(+)dm⁻³ a 90 cm de profundidade (Figura 1.11).

Os micronutrientes, Cu e Fe (Figura 1.15) não apresentaram um claro padrão de distribuição nos perfis estudados. Há, no entanto, uma tendência dos valores de Cu serem mais altos para nos solos da mata e de Fe serem mais altos nos solos sob cerrado. Já os micronutrientes Zn e Mn seguem os padrões de distribuição vistos para os macronutrientes, com maiores concentrações nas camadas superficiais do solo. Sendo Zn um nutriente que apresentou pouca diferença nos teores quando comparados solos de mata e de cerrado, com maiores concentrações na mata para solo superficial, e maiores concentrações no cerrado a partir de 30 cm de profundidade. Já o Mn apresentou concentrações bastante distintas entre mata e cerrado, até 50 cm de profundidade, sendo observados a partir desta, valores próximos entre os solos desses ecossistemas.

Transição entre cerradão e cerrado.

Também nos solos desta transição foi verificada diferença entre as áreas quanto à saturação por bases e densidade dos solos. Ambas, mais elevadas nos solos de cerrado e borda, quando comparados aos solos de cerradão (Tabela 1.1, Figura 1.8).

As maiores concentrações de nutrientes no solo foram verificadas nas camadas superficiais e decresceram com o aumento da profundidade. Apenas o pH, que não apresentou um padrão claro de distribuição nos perfis, mostrou tendência de incremento com o aumento da profundidade. Não houve, entretanto, diferenças nos valores pH, bem como nos teores de N, P, K, Ca, Mg e carbono orgânico entre os solos de cerradão, borda e cerrado (Figura 1.12).

O pH nos solos sob cerrado variou de 4,9 até 5,2 valores muito próximos aos verificados nos solos sob cerradão, entre 4,6 e 5,1. Também para as demais variáveis foram verificadas apenas pequenas diferenças, restritas às camadas superficiais, onde os teores de carbono orgânico (3 %), N (0,3 %) e P (1,6 mg kg⁻¹) no solo de cerradão foram pouco superiores aos valores vistos sob cerrado 2,2 %, 0,2 % e 1 mg kg⁻¹, respectivamente. Enquanto Ca, Mg e K apresentam concentrações nos solos sob cerrado: 0,14 cmol(+)dm⁻³, 0,3 cmol(+)dm⁻³ e 101 mg kg⁻¹, respectivamente, pouco superiores às do cerradão: 0,08 cmol(+)dm⁻³, 0,14 cmol(+)dm⁻³ e 65 mg kg⁻¹.

As diferenças entre solos de cerradão e cerrado foram mais pronunciadas quando comparados os teores de Al trocável. Estes variaram entre 1,8 e 3,6 cmol(+)dm⁻³ nos solos de cerradão, enquanto nos solos de cerrado essa variação ficou entre 0,8 e 2,2 cmol(+)dm⁻³.

Os micronutrientes analisados apresentaram padrões de distribuição nos perfis do solo, no cerradão no cerrado e na borda, semelhantes aos verificados para os macronutrientes (Figura 1.16). Apenas o Cu apresentou um padrão irregular de distribuição nos perfis com, no entanto, teores bastante próximos quando comparados cerradão e cerrado. Os teores de Fe, Zn e Mn também não diferiram entre as fisionomias, apesar da pequena distinção verificada na concentração de Zn, pouco mais elevada no solo de cerradão.

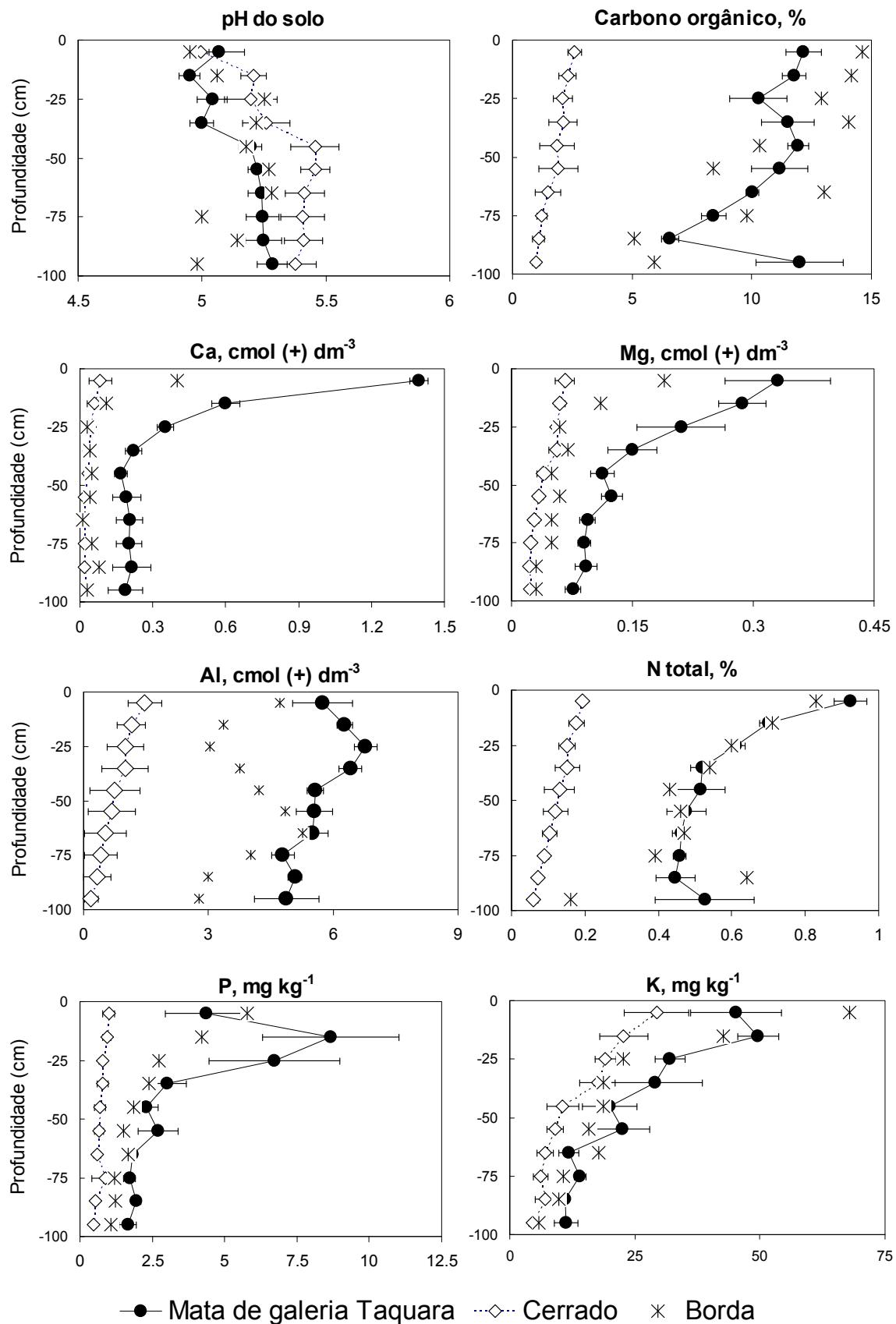


Figura 1.9 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre a mata de galeria do Taquara e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

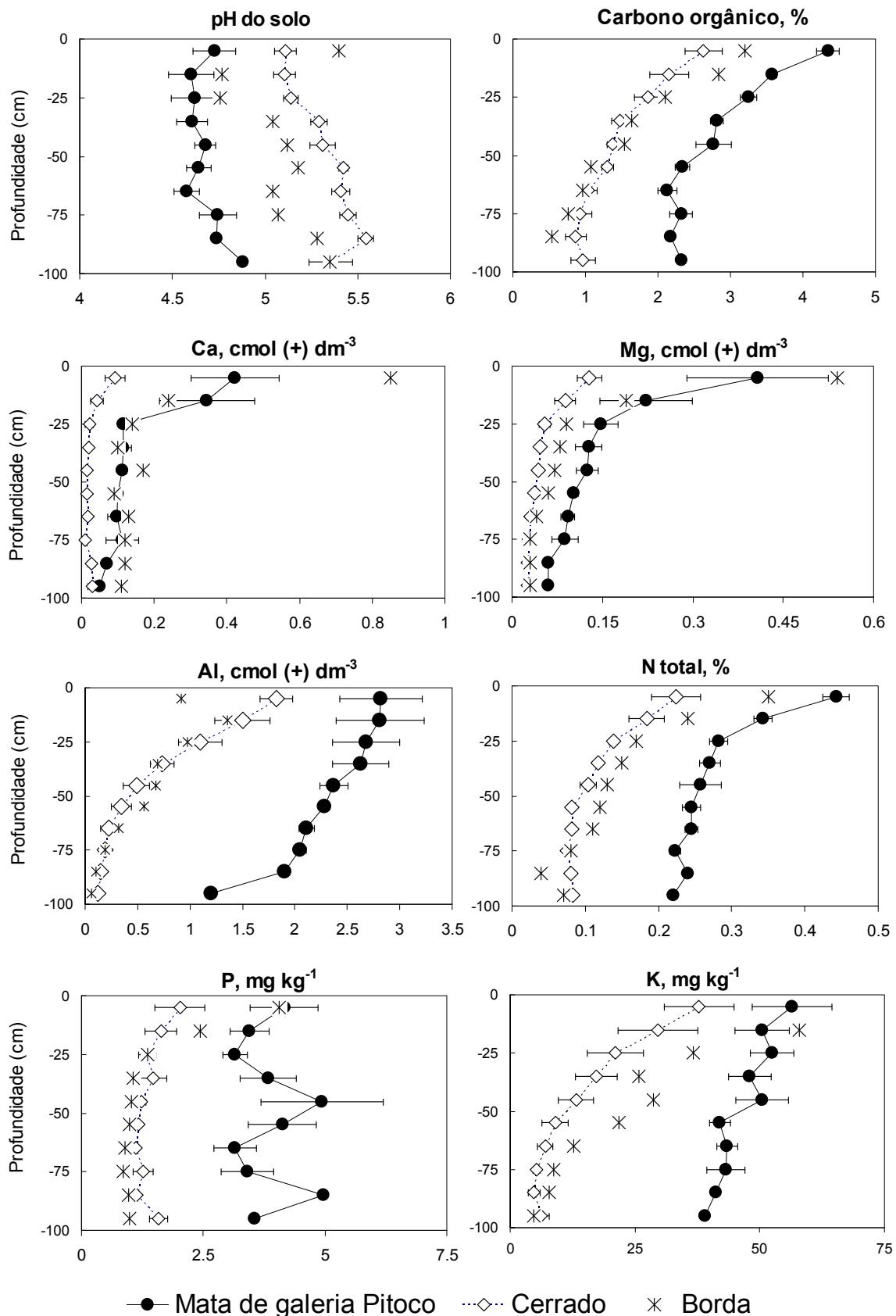


Figura 1.10 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre mata de galeria Pitoco e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

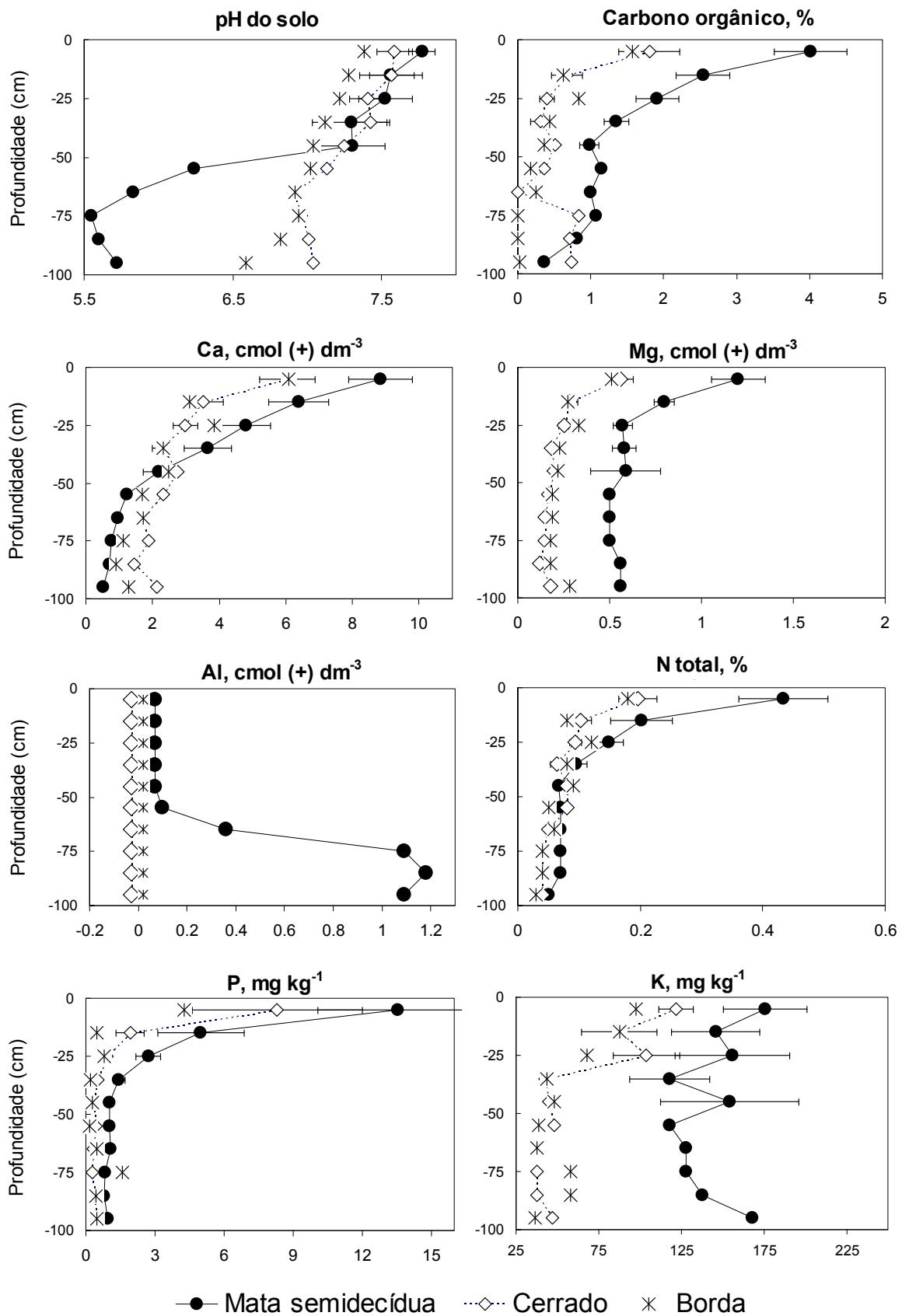


Figura 1.11 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre mata semidecídua e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

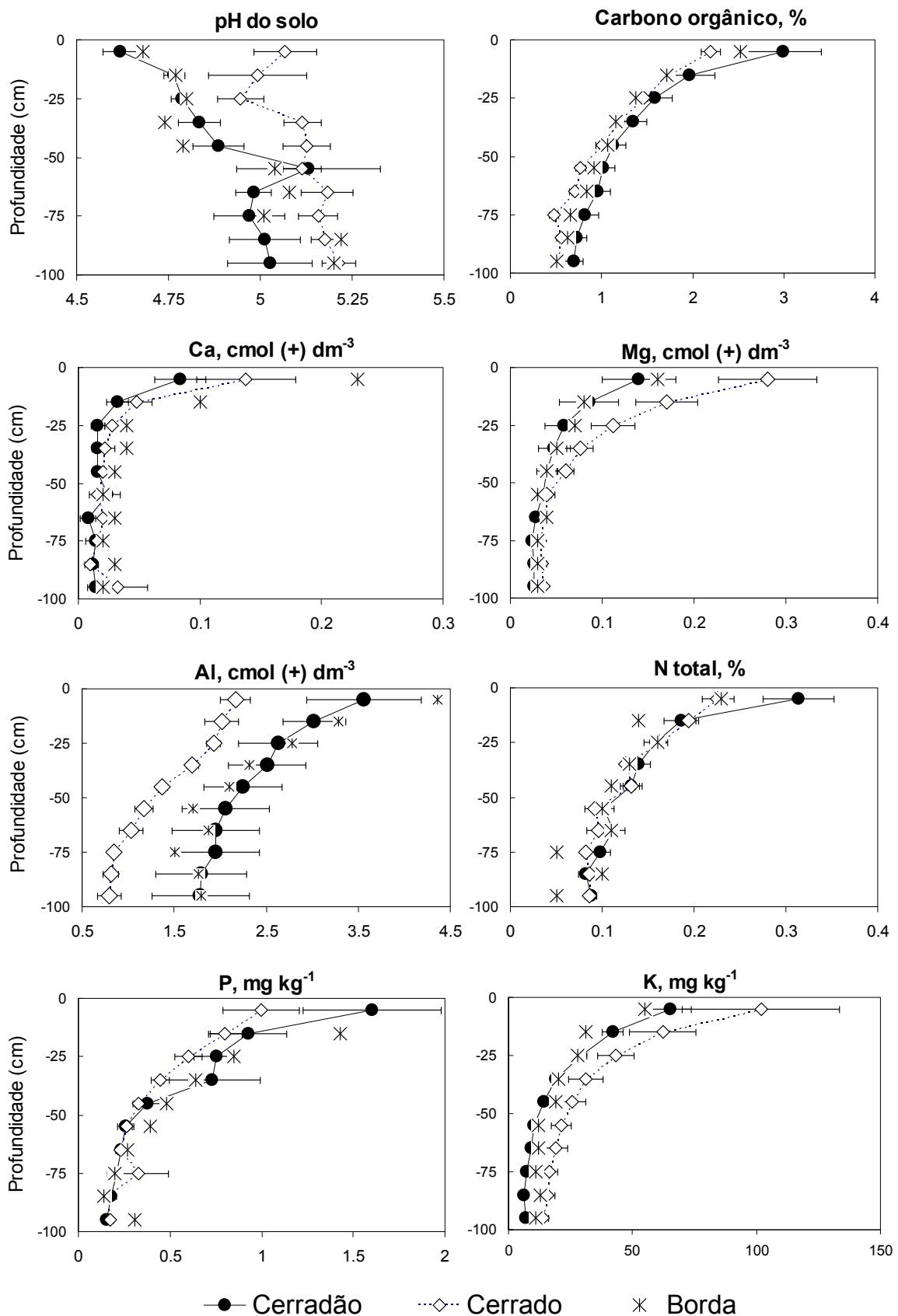


Figura 1.12 – Teor de carbono orgânico, pH do solo, N total, P, K, Ca, Mg e Al disponíveis, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerradão e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

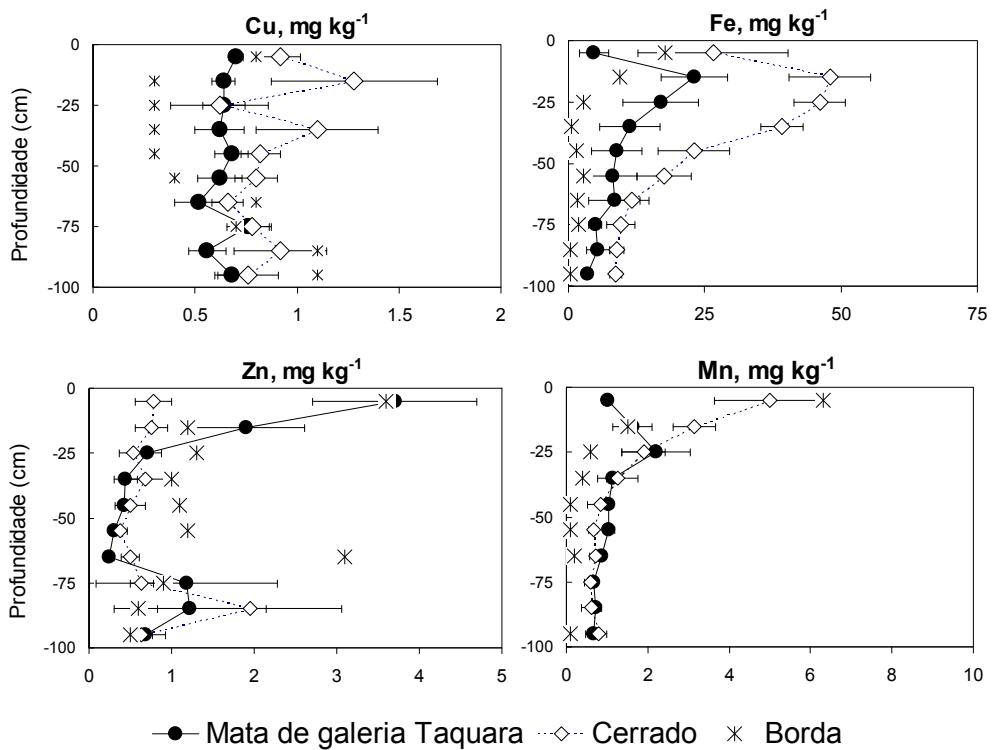


Figura 1.13 - Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre a mata de galeria do Taquara e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam o desvios-padrão das médias.

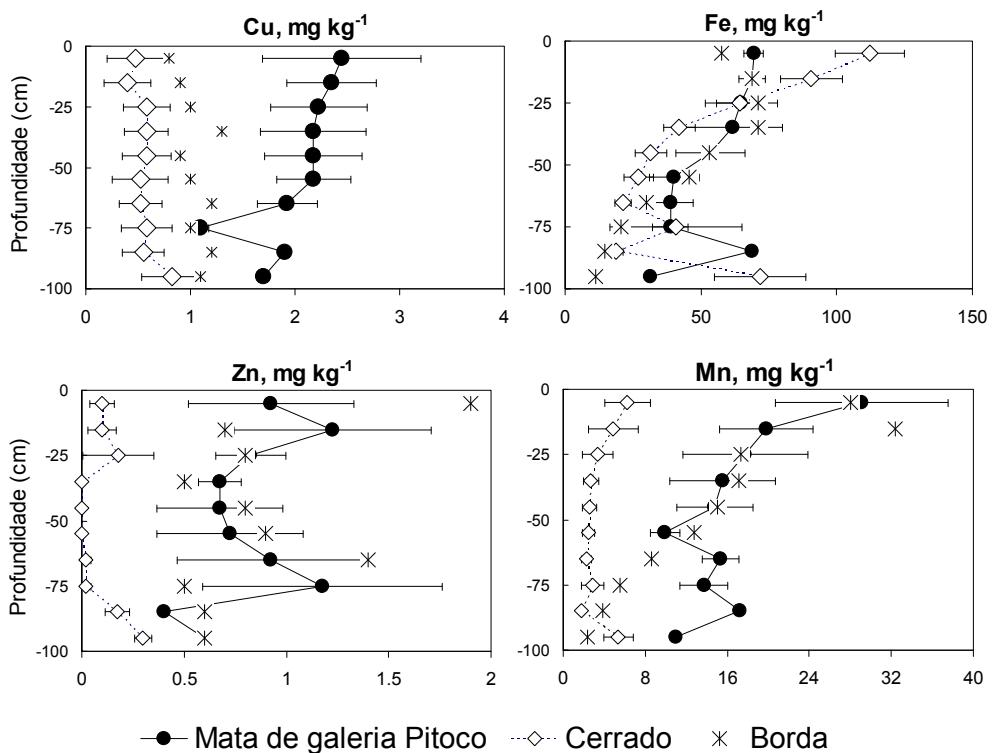


Figura 1.14 - Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre a mata de galeria do Pitoco e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

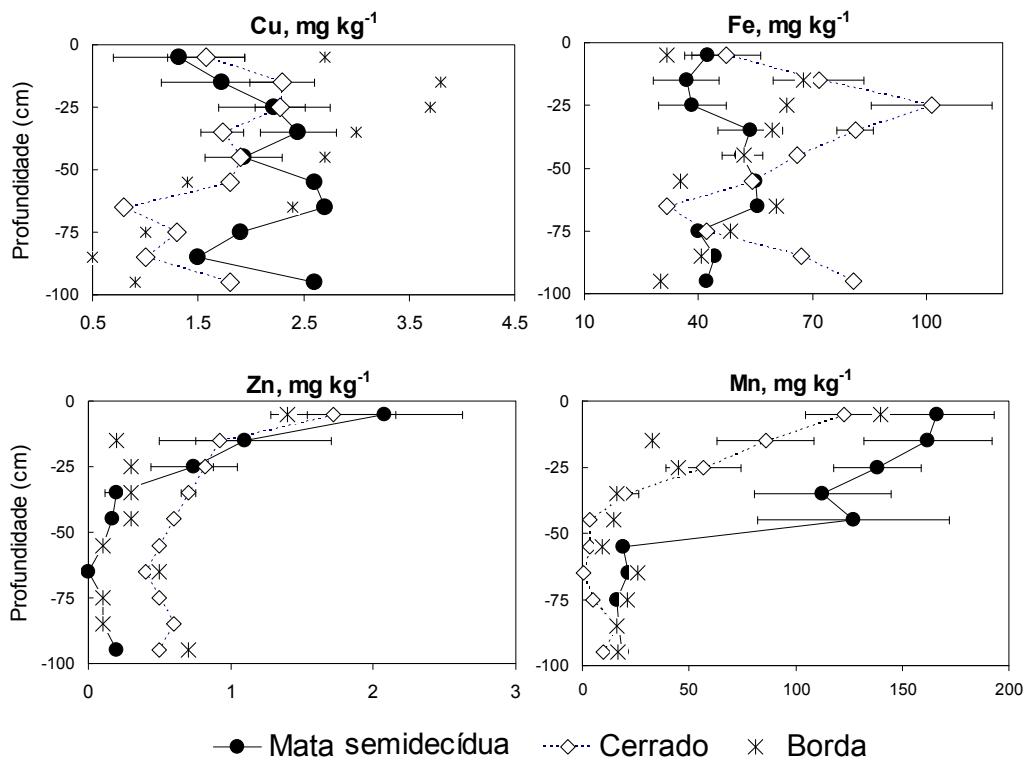


Figura 1.15 – Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre mata semidecídua e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

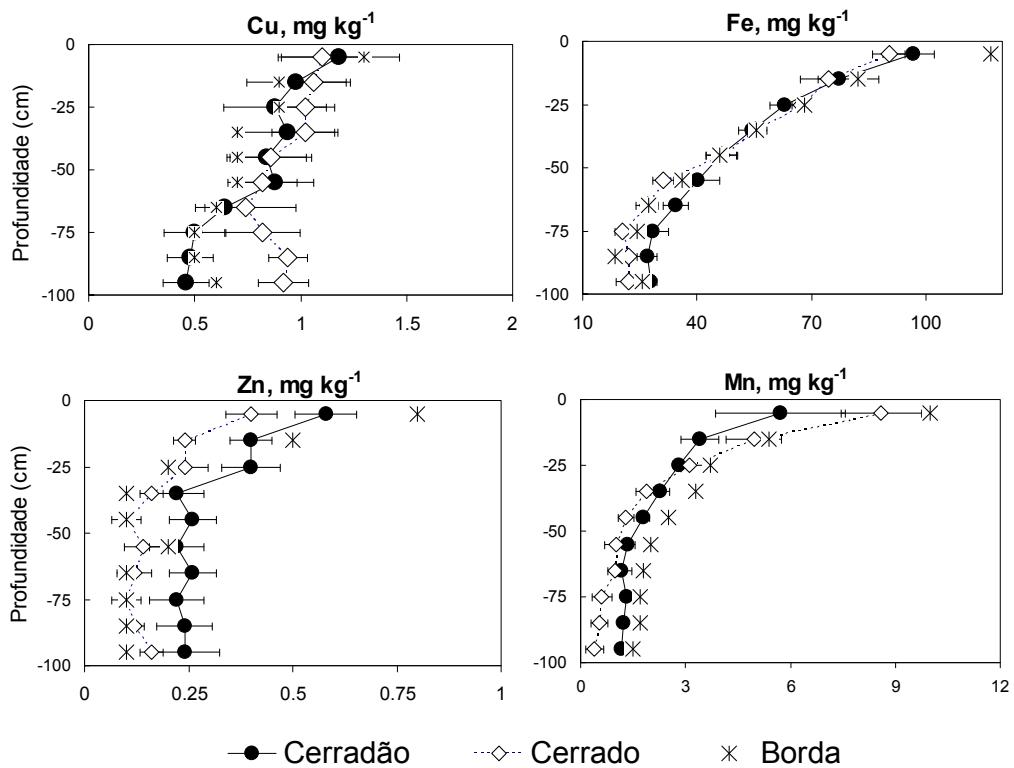


Figura 1.16 - Disponibilidade de Cu, Fe, Zn e Mn em diferentes profundidades do solo, no transecto entre cerradão e vegetação aberta de cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

3.3 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DE ESTUDO

Os resultados das características edáficas, anteriormente apresentados para cada um dos transectos, mostram que existem gradientes entre áreas abertas de cerrado e as áreas florestais (Figuras 1.9 a 1.16). Entretanto, existem também distinções quando comparadas as diferentes áreas de estudo. Na tabela 1.1, por exemplo, verifica-se que todas as transições entre fitosionomias florestais e cerrado sentido restrito, com exceção da transição entre cerrado e mata semidecidual, estão estabelecidas sobre solos distróficos, com saturação por bases inferior a 50%. Enquanto o solo, mesmo sob cerrado, na transição com mata semidecídua, pode ser classificado como solo eutrófico com saturação por bases sempre superior a 90% (EMBRAPA 1999).

A disponibilidade de cálcio, com valores superiores a $8 \text{ cmol}(+)\text{dm}^{-3}$ na mata semidecidual e chegando até $6 \text{ cmol}(+)\text{dm}^{-3}$ no cerrado adjacente, foi muito superior aos valores verificados nas demais fitofisionomias, normalmente abaixo de $1 \text{ cmol}(+)\text{dm}^{-3}$. Apenas nos solos da mata de galeria do Taquara pôde-se observar valores de Ca acima de $1 \text{ cmol}(+)\text{dm}^{-3}$, que são semelhantes, em alguns casos, aos solos amostrados sob mata semidecídua (Figura 1.17). Os valores de pH, entre 5,5 e 8 no transecto da mata semidecídua, também foram muito superiores aos verificados nas demais fitofisionomias, que variaram entre 4,5 e 5,5. Foram ainda verificadas concentrações elevadas de Mg ($1,2 \text{ cmol}(+)\text{dm}^{-3}$) e K (180 mg kg^{-1}), que juntamente com a ausência de Al disponível, diferenciam a transição entre cerrado e mata semidecídua das demais localidades. Nos solos sob a área de cerrado, adjacente à mata semidecídua, os valores de Mg e K foram semelhantes aos verificados para outras fitofisionomias florestais sendo, no entanto, superiores aos valores obtidos nas demais áreas de cerrado (Figura 1.17 e 1.18).

Os teores de carbono orgânico e de N (Figura 1.18) e de P (Figura 1.17), apresentaram os valores mais elevados nos solos das matas de galeria. Há apenas um caso, que se refere ao solo superficial, em que a concentração de P na mata semidecídua equipara-se ao medido no solo sob as matas de galeria. A mata de galeria do Pitoco teve as maiores concentrações de P ($3 \text{ a } 5 \text{ mg kg}^{-1}$) e a mata do Taquara os maiores teores de carbono orgânico ($6,6 \text{ a } 12,2 \%$) e de N ($5 \text{ a } 9 \text{ g kg}^{-1}$). Verificou-se também, correlação positiva entre N, P e carbono orgânico, onde as matas de galeria apresentam os maiores valores enquanto os valores mais baixos são verificados nas áreas abertas de cerrado, que apresentaram valores semelhantes aos dos solos sob cerradão e mata semidecídua (Figura 1.8).

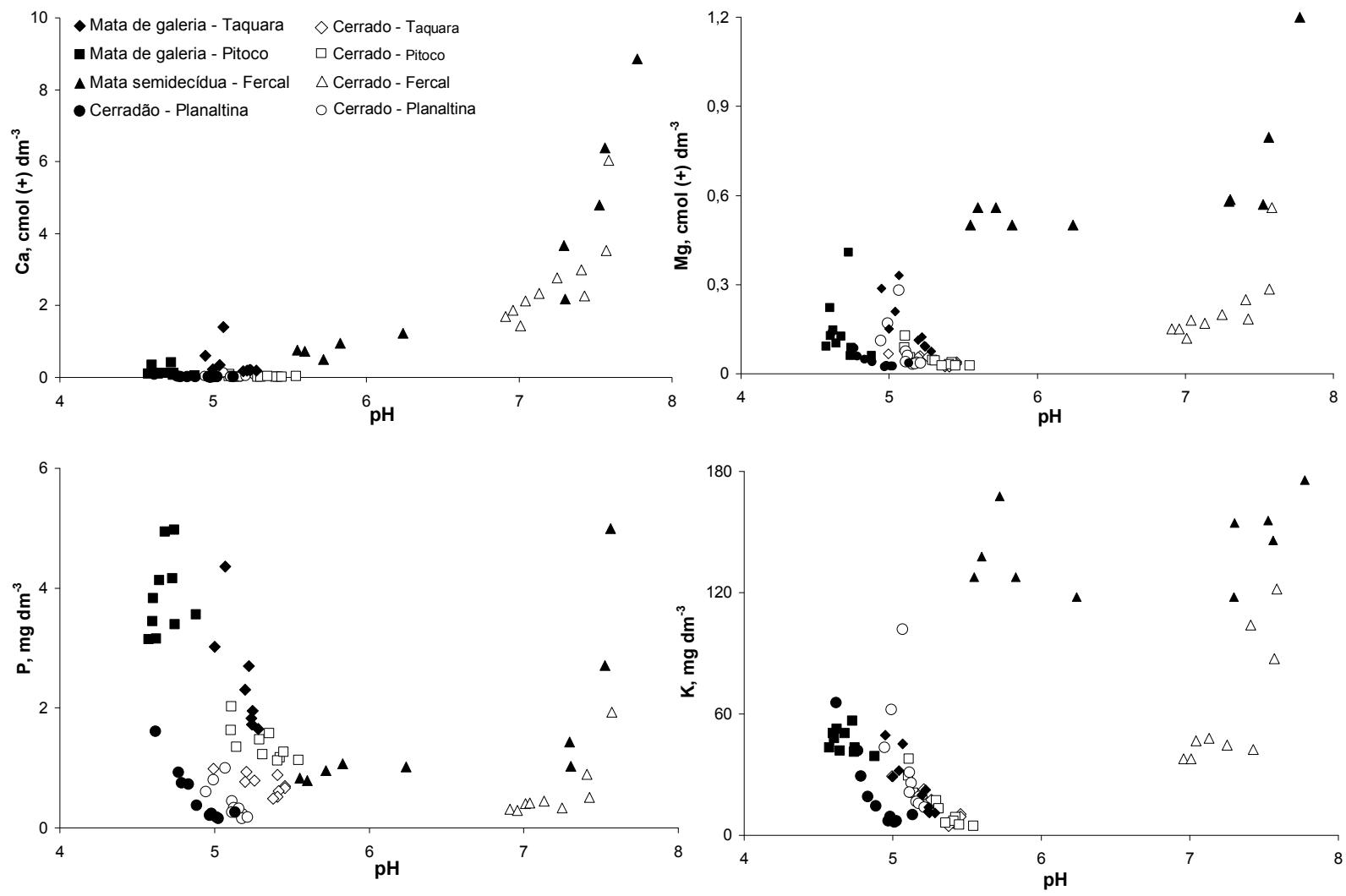


Figura 1.17 – Correlação entre pH do solo e concentrações médias de P, K, Ca e Mg disponíveis, em diferentes profundidades (0 – 100 cm) dos solos de formações florestais e áreas de cerrado adjacentes.

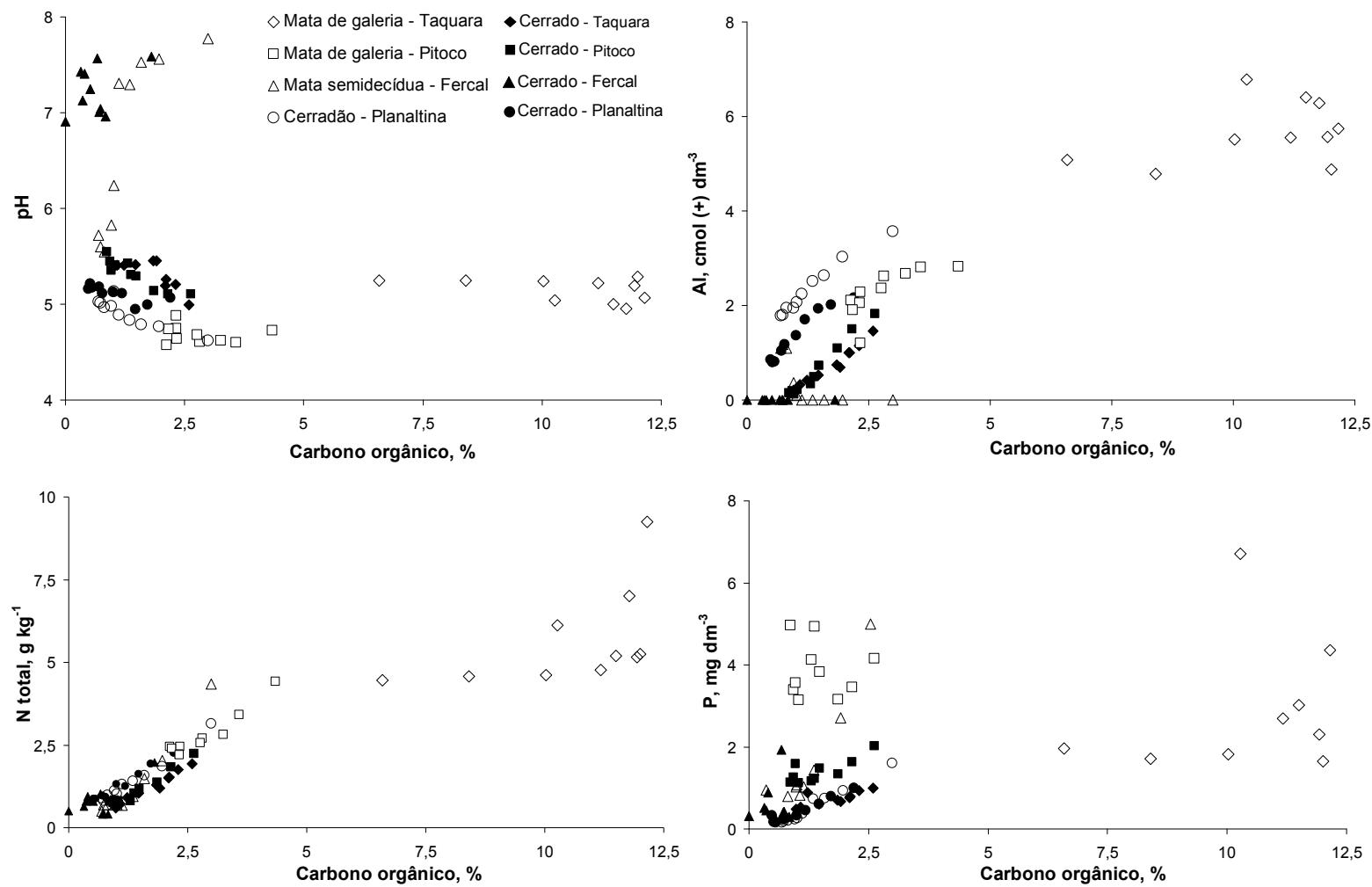


Figura 1.18 - Correlação entre teor de carbono orgânico e valores médios de pH do solo, N total, P e Al disponíveis em diferentes profundidades (0 – 100 cm) dos solos de formações florestais e áreas de cerrado adjacentes.

A utilização dos resultados de densidade (Figura 1.8), em conjunto com o conteúdo de carbono orgânico (%) do solo, permitiu a estimativa do estoque total de carbono no solo das diferentes áreas de estudo até 1 m de profundidade (Figura 1.19). Houve pouca variação quanto ao carbono estocado nos solos das formações abertas de cerrado, entretanto o estoque variou muito quando consideradas as fisionomias florestais, sendo que as matas de galeria apresentaram os maiores valores dentre as fitofisionomias florestais avaliadas.

A mata de galeria do Taquara chegou a concentrações próximas a 1000 Mg de carbono orgânico por hectare, valor aproximadamente 5 vezes superior ao verificado para a área de cerrado adjacente. Já na mata do Pitoco o estoque de carbono no solo foi da ordem de 400 Mg por hectare, aproximadamente o dobro do verificado para o cerrado, enquanto mata semidecídua (200 Mg ha^{-1}) e cerradão (100 Mg ha^{-1}) apresentaram os menores valores entre as fisionomias florestais. O cerradão foi a única fisionomia florestal onde o estoque de carbono no solo não diferiu significativamente do verificado no cerrado.

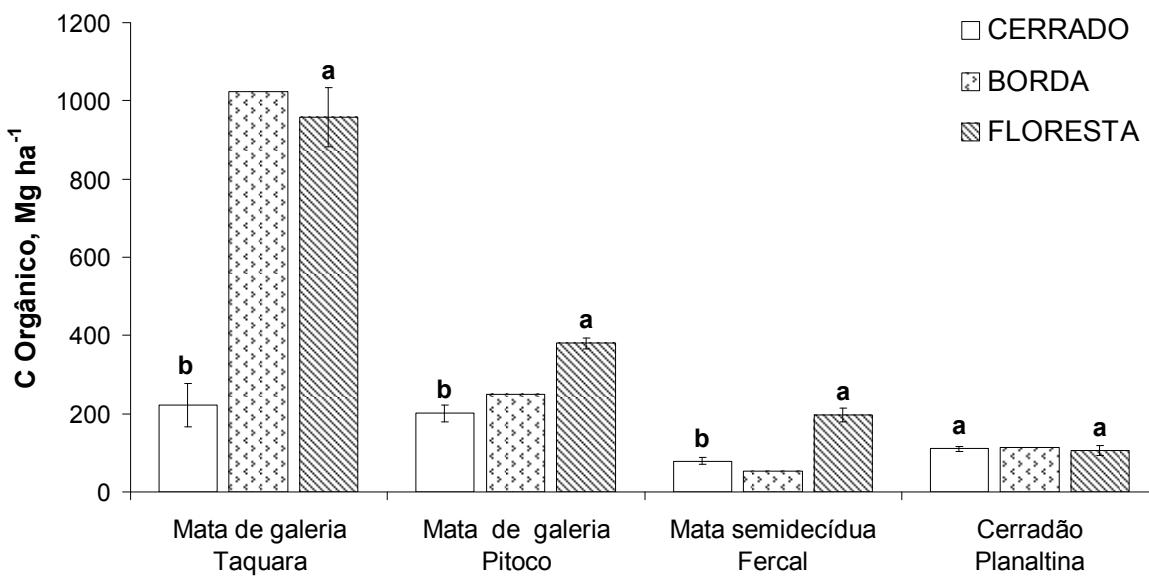


Figura 1.19 – Conteúdo total de carbono estocado até 100 cm de profundidade no solo das transições entre formações florestais e áreas de cerrado. Letras diferentes representam diferenças significativas entre cerrado e floresta ($p<0,01$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

3.4 - MUNDANÇAS DA VEGETAÇÃO NO PASSADO

Analizando-se a composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, da matéria orgânica do solo superficial (0-10 cm) juntamente com as mudanças observadas na estrutura da vegetação, pelo índice de área foliar (Figura 1.7), foi encontrada alta correlação entre a presença dos diferentes componentes da vegetação (gramíneas, árvores e arbustos) e o $\delta^{13}\text{C}$ ao longo das transições (Figura 1.20). Maiores valores de índice de área foliar (IAF) de árvores e arbustos promoveram $\delta^{13}\text{C}$ mais negativo, ou seja, a matéria orgânica do solo foi menos enriquecida em ^{13}C onde houve maior cobertura de plantas C_3 . Por outro lado, onde existe maior cobertura de gramíneas, plantas C_4 , o $\delta^{13}\text{C}$ foi menos negativo, o que corresponde à matéria orgânica mais enriquecida em ^{13}C . De um modo geral as assinaturas isotópicas das diferentes áreas de cerrado foram semelhantes, assim com as assinaturas das áreas florestais (Figura 1.21), com mudanças bruscas no $\delta^{13}\text{C}$ ao longo das transições entre cerrados e florestas, havendo, na maioria dos casos, assinatura intermediária na borda, com valores que correspondem à assinatura de uma vegetação de transição.

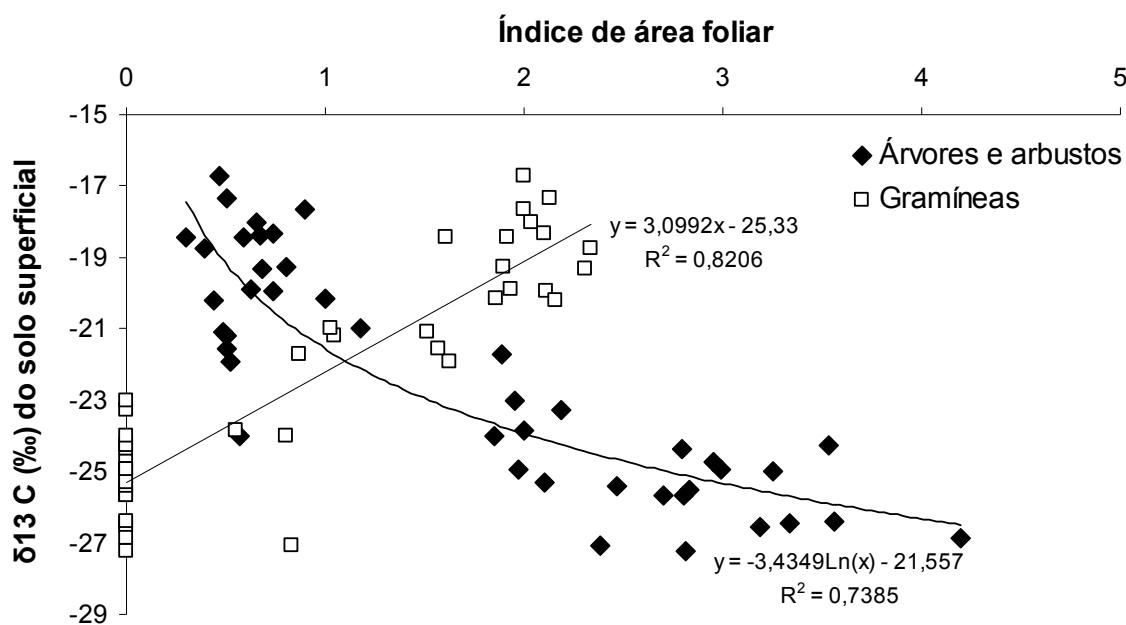


Figura 1.20 – Correlação entre o $\delta^{13}\text{C}$ (%) do solo superficial (0-10 cm) e índice de área foliar de gramíneas, árvores e arbustos das transições entre cerrado e formações florestais.

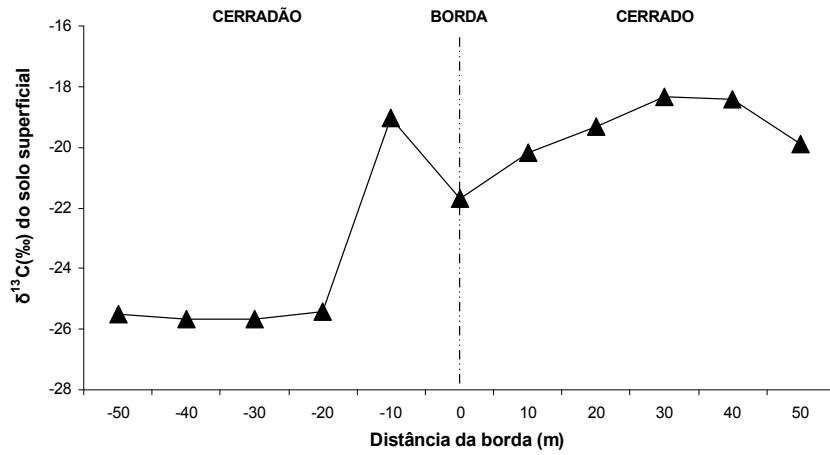
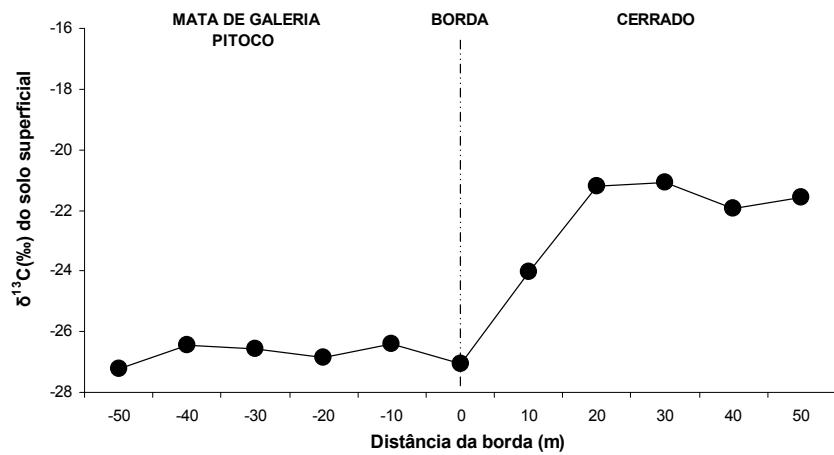
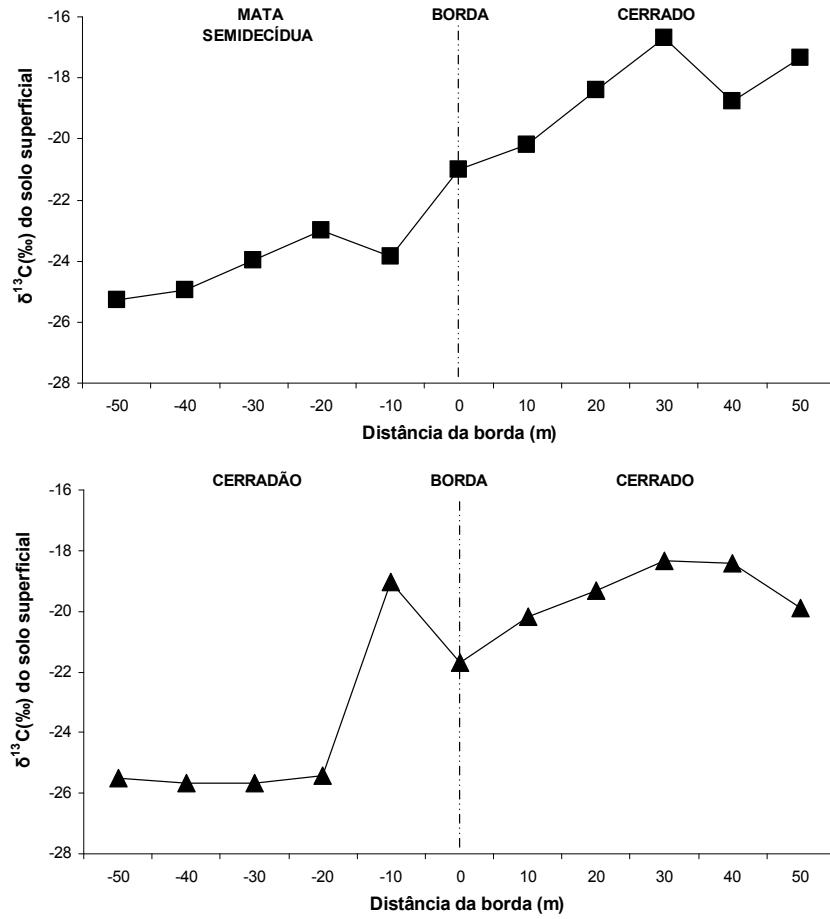
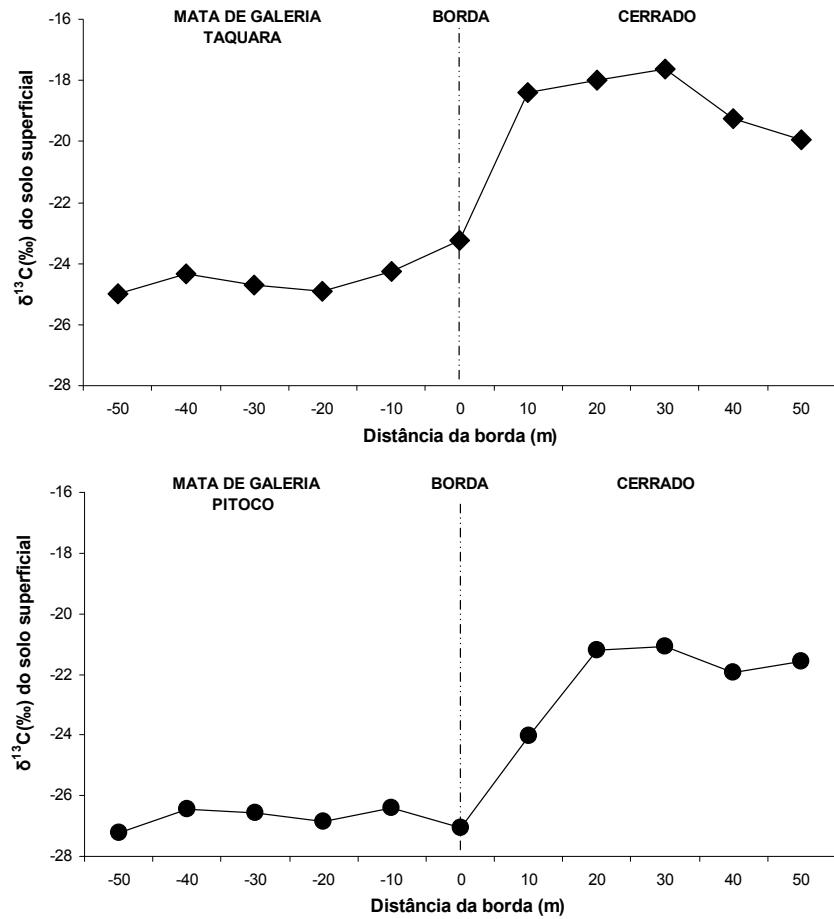


Figura 1.21 – Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, do solo superficial (0-10 cm) nas diferentes áreas de transição entre cerrado e formações florestais.

Transições entre matas de galeria e cerrado

Na transição entre cerrado e a mata de galeria do córrego do Taquara a composição isotópica de carbono do solo superficial, na vegetação atual de cerrado, foi sempre menos negativa do que -20 ‰. Já a assinatura isotópica da mata manteve-se entre -24 e -26 ‰, sendo observado na borda um valor intermediário (-23 ‰) entre os valores da mata e do cerrado (Figura 1.21).

A análise feita nos perfis mostrou nesta mata de galeria, mudanças na composição de isótopos superiores a 8 ‰ (Figura 1.22). Todos os cinco perfis de solo dentro da mata apresentaram, em profundidades superiores a 20 cm, assinatura de $\delta^{13}\text{C}$ correspondente à vegetação não florestal. Destes, os perfis a 10, 20, 30 e 40 m da borda, no interior da mata, apresentaram em profundidades iguais ou superiores a 40 cm, assinatura isotópica de cerrado (>-20 ‰). Em profundidades entre 40 e 20 cm nesses perfis e em profundidades maiores que 20 cm no perfil a 50 m da borda, verificou-se composição de carbono que indica a presença de uma vegetação de transição.

No perfil da borda também houve mudança na composição isotópica com variações superiores a 8 ‰. Na borda se verificou $\delta^{13}\text{C}$ intermediário entre cerrado e mata nas camadas mais superficiais do solo, enquanto, uma clara assinatura de cerrado foi registrada em profundidades superiores a 30 cm (Figura 1.22). Dessa forma, assim como nos perfis localizados dentro da mata, verificou-se provável mudança na vegetação no sentido de uma expansão florestal entre 30 e 40 cm de profundidade. De acordo com a datação por ^{14}C , feita na borda, a matéria orgânica dessa profundidade data de 3190 (± 40) anos atrás.

Em todos os perfis de cerrado verificou-se para todas as profundidades, composição isotópica de vegetação aberta (Figura 1.22). Houve, no entanto, variações que em alguns casos chegaram a 6 ‰. Em profundidades maiores que 40 cm foram verificados valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -14 ‰, em perfis onde os solos superficiais apresentam $\delta^{13}\text{C}$ de aproximadamente -20 ‰. O que pode representar um contínuo adensamento da vegetação arbórea, apesar da vegetação ainda corresponder a uma fisionomia aberta, com presença de estrato herbáceo dominado por gramíneas C₄.

Na mata de galeria do Pitoco os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do solo superficial variaram entre -26 e -28 ‰ enquanto no cerrado adjacente, os valores foram sempre menos negativos do que -22 ‰. Existe, entretanto, uma exceção quanto ao solo de cerrado localizado a 10 m da borda, cujo valor de $\delta^{13}\text{C}$ foi intermediário entre a assinatura isotópica da mata e dos demais pontos analisados no cerrado (Figura 1.21).

Também na transição entre o cerrado e a mata do Pitoco foi verificada mudança no $\delta^{13}\text{C}$ nos perfis do solo, que indicam expansão da mata de galeria. A 50 m da borda, no interior da mata, foi verificada assinatura isotópica de vegetação florestal em quase todo o perfil. Todavia, nos demais perfis da mata têm-se assinaturas claras de vegetação de transição nas profundidades intermediárias, e assinaturas de cerrado nos solos mais profundos. As variações da composição de carbono foram da ordem de 8 ‰ para os perfis a 10 e 20 m da borda, e de aproximadamente 4 ‰ para o perfil a 40 m da borda, comparando-se os solos mais profundos com o solo superficial (Figura 1.23). Nesses perfis a assinatura isotópica de mata somente foi verificada a partir de profundidades iguais ou menores que 50 cm. Onde, segundo a datação por C^{14} a matéria orgânica do solo data de 390 (± 50) anos atrás.

Tanto o perfil da borda quanto os perfis a 10 e 20 m dentro da mata revelam assinaturas de cerrado nas profundidades maiores que 70 cm, a partir da qual passou a ser registrada assinatura de vegetação de transição ou florestal nos solos mais superficiais. A datação por C^{14} mostra que essa mudança de uma vegetação de cerrado para uma vegetação de transição, a 70 cm de profundidade, teve início há 3080 (± 40) anos atrás. Já nos perfis analisados dentro do cerrado os valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicam a estabilidade da composição isotópica, com assinatura de cerrado presente em todas as profundidades avaliadas, com variações pouco superiores a 2 ‰ (Figura 1.23).

Transição entre mata semidecídua e cerrado

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica no solo superficial (0-10 cm) da mata semidecídua foram compreendidos entre -23 e -26 ‰, já no cerrado os valores foram sempre menos negativos do que -20 ‰ chegando a -16 ‰ a 30 m da borda, que apresentou composição intermediária (~ -21 ‰) entre a assinatura de mata e de cerrado (Figura 1.21).

A composição isotópica dos perfis apresentou variação na borda (Figura 1.24) que oscilou entre as assinaturas de cerrado e de mata, a 90 e 80 cm de profundidade respectivamente. Após essa variação, o solo mais superficial que 80 cm de profundidade, apresentou composição isotópica de vegetação de transição, ou seja, sem uma assinatura clara de cerrado ou de mata. Nos perfis dentro do cerrado e da mata, registrou-se uma relativa estabilidade do $\delta^{13}\text{C}$. Entretanto, no perfil a 50 m da borda dentro do cerrado, a 90 e 100 cm de profundidade, houve claro sinal da presença de uma vegetação de transição, que passou a uma assinatura de cerrado ($> -20 \text{ ‰}$) em profundidades menores que 90 cm. Enquanto nos perfis da mata houve sempre a assinatura isotópica que pode ser atribuída a uma fisionomia de mata semidecídua.

Transição entre cerradão e cerrado

De um modo geral a composição isotópica na área de cerradão ficou compreendida entre -25 e -26 ‰, enquanto a de cerrado variou entre -20 e -18 ‰ e a da borda foi de aproximadamente -21 ‰ (Figura 1.21). Apesar dessa clara separação, foi verificado a 10 m da borda, no interior do cerradão, um valor menos negativo que -20 ‰, composição isotópica que poderia ser classificada como sendo de cerrado. Apenas a partir de 20 m da borda a composição de isótopos no solo de cerradão apresentou estabilidade, de modo que este foi o valor considerado como a assinatura isotópica de cerradão (entre -25 e -26 ‰).

Nos perfis da área de cerrado e no perfil da borda pôde ser verificada grande estabilidade na composição de isótopos. Entretanto, a composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ nos perfis a 20, 30, 40 e 50 m dentro do cerradão apresentou mudanças da ordem de aproximadamente 4 ‰ (Figura 1.25). Essa variação mostrou, nos perfis de cerradão a presença de uma assinatura isotópica de vegetação de transição, nos solos mais profundos que 30 cm. De modo que, nesses perfis, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ que correspondem à assinatura isotópica de cerradão foram registrados apenas nos solos mais superficiais. No perfil localizado a 10 m da borda no interior do cerradão, apesar da estabilidade registrada, verificou-se, assim como no solo superficial (Figura 1.21), clara assinatura de fisionomia aberta de cerrado ($> -20 \text{ ‰}$) em todas as profundidades avaliadas (Figura 1.25).

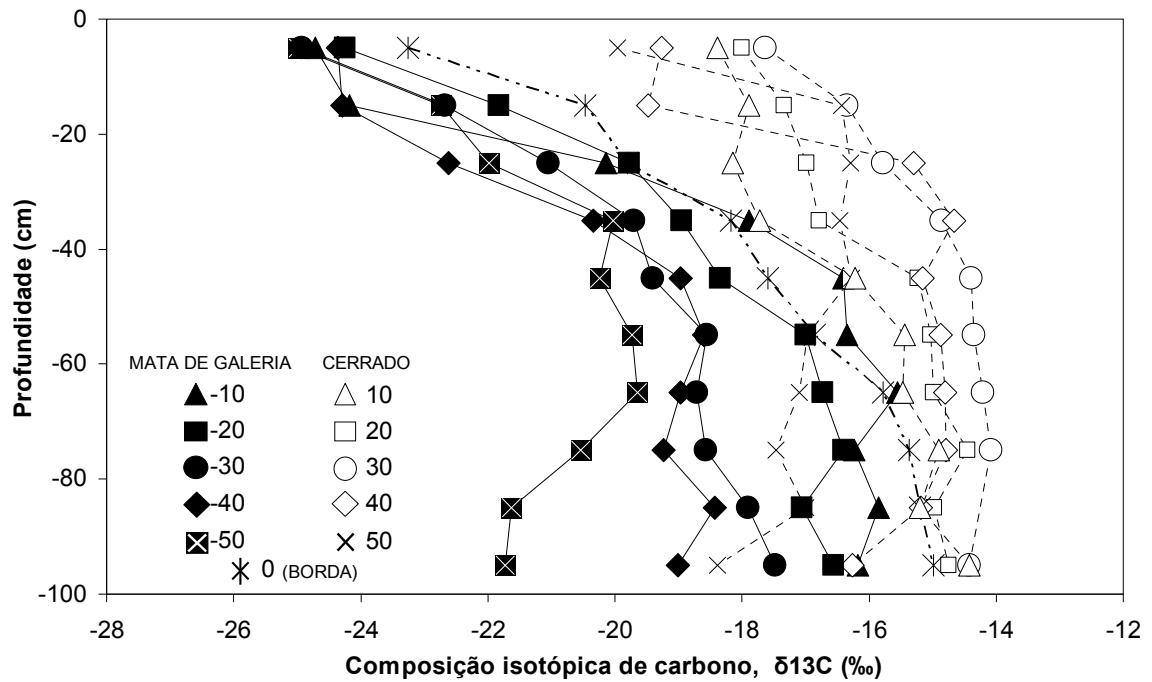


Figura 1.22 – Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerrado e mata de galeria do Taquara.

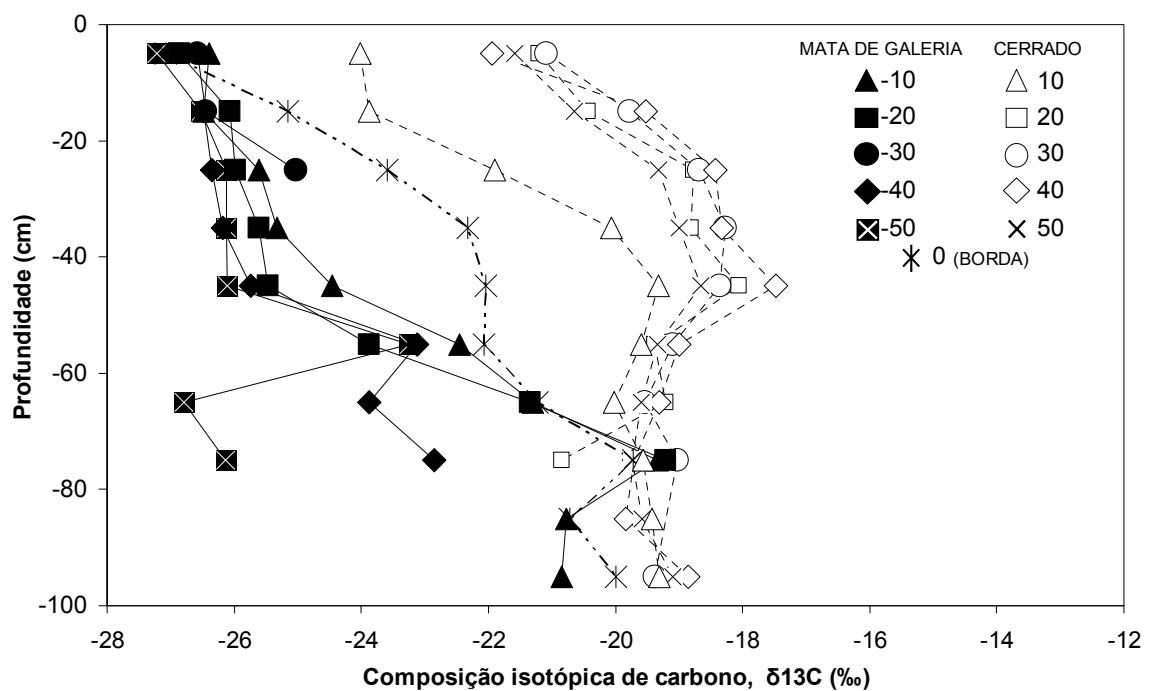
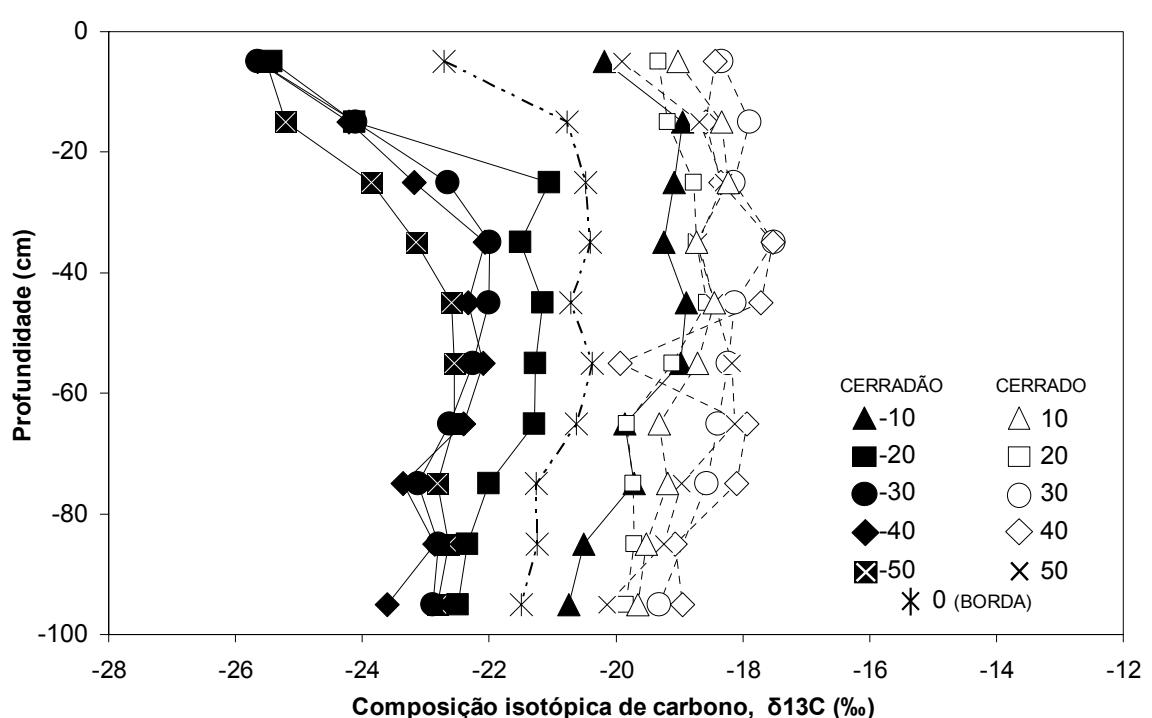
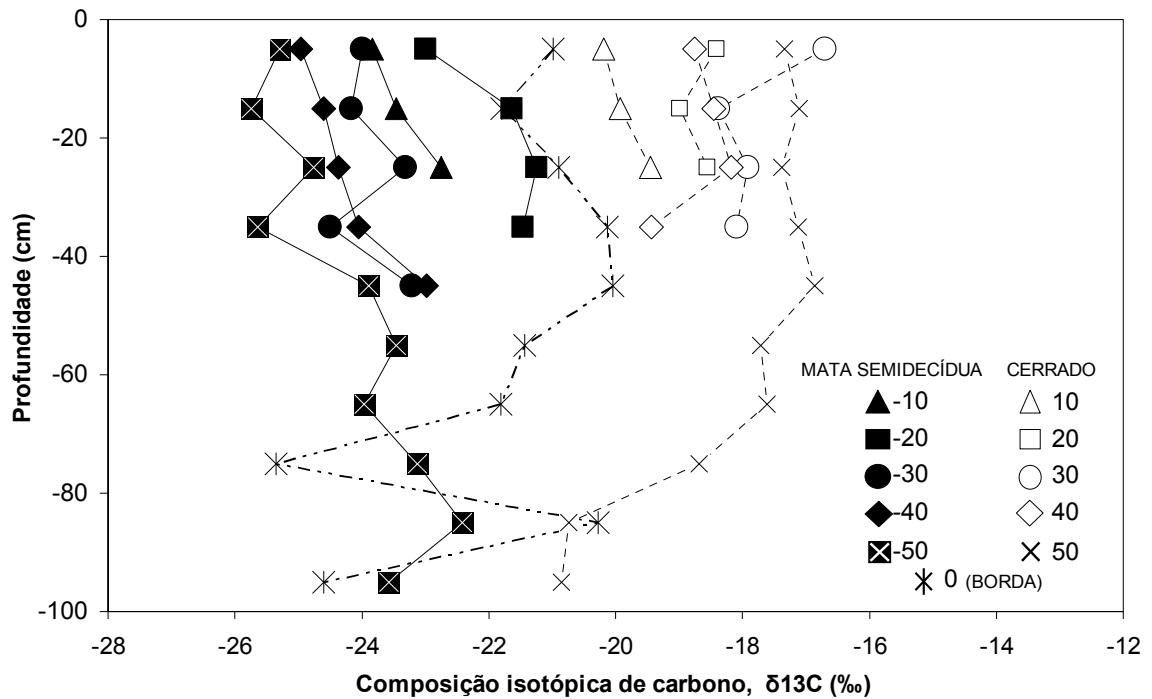


Figura 1.23 - Variação na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, em diferentes profundidades do solo, na transição entre cerrado e mata de galeria do Pitoco.



4 – DISCUSSÃO

4.1 – COBERTURA VEGETACIONAL E GRADIENTES EDÁFICOS ATUAIS

A caracterização dos transectos com base no índice de área foliar (IAF) permitiu a visualização de transições bruscas, típicas das interfaces entre formações florestais e áreas abertas de cerrado, que ocorreram em todos os transectos estudados em distância de no máximo 20 m (Figura 1.7). A escolha da borda, em um primeiro momento, foi visual, baseada na cobertura herbácea, o que antecedeu a estimativa do IAF. A presença de um estrato herbáceo contínuo é um fator fundamental de diferenciação entre formações savânicas e florestais no bioma Cerrado (Eiten 1984, 1990) característica que pode ser facilmente observada em campo. Os valores de IAF, determinados posteriormente por fotografia hemisférica, foram consistentes com o critério visual utilizado para a escolha da borda, onde foi considerado o ponto zero, ou borda, o local em que se pôde verificar a interrupção da cobertura herbácea. Em todos os transectos estudados a interrupção do estrato herbáceo coincidiu com o adensamento da vegetação arbórea, marcando o início de uma vegetação com estrutura florestal. Nas porções não florestais a cobertura de gramíneas foi superior à cobertura de plantas arbóreas, onde os valores de IAF encontrados tanto para árvores/arbustos como para gramíneas permitem classificar essas fisionomias como cerrados, sentido restrito, de acordo com valores registrados por Hoffmann *et al.* (2005).

Foram observados na transição entre cerrado e a mata de galeria do Taquara, valores de IAF que diferiram das demais transições (Figura 1.7). Neste transecto não foi verificada cobertura de gramíneas na borda, e o IAF mesmo a 10 m da borda, no interior do cerrado ($< 0,5$ para gramíneas), mostrou-se abaixo dos valores dos cerrados das demais transições. Essa diferenciação ocorreu provavelmente em função da presença de densa cobertura de *Pteridium arachnoideum* (Kaulf) Maxon, espécie exótica invasora estabelecida na interface entre cerrado e mata nesta transição. A mata do Taquara está localizada sobre solos hidromórficos, mal drenados, o que favorece a presença desta espécie, que é capaz de dominar as áreas onde se estabelecem, impedindo a presença até mesmo de gramíneas (Batalha *et al.* 2002).

Em todas as transições estudadas houve maiores concentrações de nutrientes nas camadas superiores do solo com acentuado decréscimo com o aumento da profundidade. Esse padrão foi uma tendência geral, para macro e micro nutrientes nas florestas, não sendo válido, entretanto, para os valores de pH. Já os solos de cerrado tenderam a apresentar amplitudes menores de variação nutricional ao longo dos perfis (Figura 1.9 a 1.15).

A acidez do solo e a disponibilidade de nutrientes são em grande parte função do material de origem dos solos. A distribuição de nutrientes nos perfis, no entanto, está intimamente ligada à presença da vegetação e à ciclagem de nutrientes. Apesar da biomassa vegetal ser majoritariamente composta por elementos leves derivados da atmosfera (C, N, H, O e S), entre 5 e 10 %, aproximadamente, dessa biomassa, é formada por elementos mais pesados retirados do solo como Ca, Mg, K e P. De modo que a assimilação destes elementos por parte das plantas os redistribui no perfil, favorecendo maiores concentrações nas camadas superficiais por mecanismos como, por exemplo, a deposição da serrapilheira (Jobbagy e Jackson 2004).

Verificamos nas transições estudadas, que o tipo de vegetação altera os teores de nutrientes no solo. Os gradientes de fertilidade encontrados tenderam a seguir gradientes de carbono orgânico, que por sua vez mostraram-se determinados pelos limites das áreas florestais. Esse comportamento foi ainda mais evidente nas transições entre cerrados e matas de galeria, onde os distintos mecanismos de assimilação de nutrientes e as respostas da vegetação a diferentes regimes hídricos influenciam diretamente a distribuição de nutrientes, diferenciando os perfis de solo entre estes ecossistemas (Figura 1.9 e 1.10).

O investimento em raízes profundas, comuns às espécies de cerrado, por exemplo, está relacionado não apenas à busca por água em solos mais profundos, como também à exploração de maior volume de solo para aquisição de nutrientes (McCulley *et al.* 2004). Em contraste, as espécies nas matas de galeria em geral têm maior investimento em raízes superficiais, muitas vezes em resposta ao lençol freático menos profundo, o que aliado a um microclima específico que promove maior acúmulo de matéria orgânica sobre a superfície do solo, altera o padrão de distribuição dos nutrientes (Medina e Cuevas 1996).

Já na transição entre cerradão e cerrado não se verificou qualquer gradiente edáfico bem definido. Tanto os teores de carbono orgânico, quanto a concentração de macro e micro nutrientes no solo, como também os padrões de distribuição destes, mostraram-se muito similares (Figura 1.12). Dessa forma, a fertilidade atual dos solos não explica as diferenças estruturais entre essas duas fitofisionomias, condição que já foi verificada e anteriormente discutida na literatura (Ribeiro 1983, Haridasan 1992, Marimon e Haridasan 2005). É possível que outras características, como a biologia do solo, por exemplo, estejam atuando no sentido de permitir uma eficiente reciclagem dos nutrientes já incorporados à biomassa do cerrado, perpetuando assim a vegetação de estrutura florestal mesmo sob solos tão pobres quanto os do cerrado adjacente.

Na transição entre mata semidecidual e cerrado foram verificados gradientes edáficos relativos aos teores de carbono orgânico, Mg e K, que apresentaram maiores concentrações dentro da mata (Figura 1.11). No entanto, a maioria dos nutrientes nos solos sob cerrado apresentou teores similares aos dos solos da mata semidecídua. Além disso, nos solos de cerrado, nesta localidade, os teores de nutrientes, principalmente o Ca, foram muito superiores aos normalmente descritos para esta fisionomia (Haridasan 1992, 2005), superando em mais de 10 vezes os valores observados nos solos de cerrado nos demais transectos estudados (Figura 1.17).

A ocorrência de vegetação de cerrado estabelecida naturalmente sobre áreas ricas em cálcio já foi relatada no Distrito Federal, com a presença de espécie *Luehea paniculata* como indicadora (Furley 1985). No entanto, o autor verificou alta concentração de cálcio para o solo superficial (0-5cm) com acentuado decréscimo a partir dessa profundidade. Aspecto este, que não verificamos para o cerrado em transição com mata semidecídua, que apresentou altas concentrações de cálcio em todas as camadas analisadas no perfil de 1 m de profundidade. Além disso, na área de estudo, não foram encontrados exemplares da espécie *L. paniculata*.

São raras as áreas no bioma Cerrado onde são encontrados solos ricos dando suporte a fisionomias abertas. Essas fisionomias estão normalmente associadas a solos profundos, com alta saturação por Al, e nutricionalmente pobres (Eiten 1990, Haridasan 1992). No entanto, o

cerrado avaliado, bem como a mata semidecidual, encontram-se sobre um Argissolo Vermelho Amarelo equivalente eutrófico (RADAMBRASIL 1982, Reatto *et al.* 2004), onde verificamos saturação por bases sempre superior a 90%, em todas as profundidades do solo sob vegetação de cerrado (Tabela 1.1). Dessa forma, a mudança estrutural da vegetação, de floresta para cerrado deve ser atribuída a outros fatores que não à fertilidade do solo, como, a limitação de água, profundidade efetiva de solo, ou mesmo histórico de perturbações antrópicas na área.

A diversidade de solos é comum à região do bioma Cerrado, que constitui um exemplo clássico de uma evolução de paisagem policíclica, onde é possível encontrar tanto superfícies geomórficas recentes, formações do Pleistoceno, quanto remanescentes bem preservados de superfícies muito antigas (Lepsch e Buol 1988). As áreas de mata decídua ou semidecidua, normalmente estão associadas a solos oriundos de superfícies geomórficas recentes, pouco intemperizados e ricos em nutrientes como os Cambissolos, Nitossolos e Argissolos (Motta *et al.* 2002a). Enquanto, localidades de superfícies geomórficas mais antigas, que são as predominantes no bioma, correspondem aos solos altamente intemperizados, desde o Terciário, como os Latossolos (Haridasan 1990).

Em contraste com os resultados obtidos na transição entre cerrado e mata semidecidua, onde tipicamente as propriedades dos solos e seu material de origem apresentam relações mais evidentes (Motta *et al.* 2002a), as demais transições estudadas estão estabelecidas sobre solos pobres. Estes podem ser classificados como distróficos de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA 1999), com saturação por bases sempre inferior a 50 % (Tabela 1.1).

As áreas de cerradão bem como de matas de galeria, estão estabelecidas sobre solos pobres, originados no período Terciário, com superfícies formadas por resíduos plínticos (Pereira 1989). A mata de galeria do córrego do Pitoco, assim como o cerradão, estão estabelecidas sobre um Latossolo Vermelho Escuro (Silva Júnior 2001, Ribeiro 1983). Já a mata de galeria do Taquara se localiza sobre solos Hidromórficos, com a presença de manchas com maiores concentrações de cálcio (Silva Júnior 1995). De acordo com Pereira *et al.* (1993), podem existir sob algumas matas de galeria da RECOR-IBGE, pequenas faixas de material

sedimentar aluvial originado no Quaternário o que proporciona zonas de fertilidade intermediária, relativa principalmente às concentrações de Ca (Motta *et al.* 2002a).

Confirmando essa condição os teores de Ca, na área da mata de galeria do Taquara foram pouco superiores às demais fitofisionomias estabelecidas sobre solos pobres, apresentando inclusive concentrações equivalentes aos menores valores verificados em solos sob a mata semidecídua (Figura 1.17). Apesar disso, pôde-se verificar uma clara separação entre os solos originados de superfícies geomórficas mais antigas, os Latossolos sob cerradão e mata do Pitoco e solo Hidromórfico sob a mata do Taquara, quando comparados ao Argissolo, da transição entre cerrado e mata semidecídua. Onde as principais diferenças foram verificadas na disponibilidade de Ca, bem como na acidez do solo (Figura 1.17 e 1.18).

Os teores de N e P foram diretamente relacionados aos teores de carbono orgânico, cujos maiores valores foram encontrados nas matas de galeria. Concentrações elevadas de matéria orgânica são características desse tipo de vegetação, cujos solos normalmente apresentam maiores teores do que quaisquer outras fitofisionomias do bioma (Haridasan 1998). Há, entretanto, diferenças marcantes entre as duas áreas de mata de galeria estudadas. A mata do Taquara apresentou teores de N e de carbono orgânico muito superiores aos verificados na mata do Pitoco. Que, apesar disso, apresentou maiores concentrações de P, distribuídas no perfil de forma diferenciada da verificada na mata do Taquara (Figura 1.17 e 1.18).

Certamente o regime hídrico diferenciado entre essas duas matas influencia nesses resultados, uma vez que a mata do Taquara, estabelecida sobre solo Hidromórfico, é inundável (Silva 1991), e a taxa de mineralização da matéria orgânica e disponibilização de P é menor do que na mata de galeria do Pitoco, estabelecida sobre solo Latossolo bem drenado (Silva Júnior 2001). O mesmo não foi verificado para o N, pois os resultados aqui apresentados, diferentemente dos teores de P disponível, referem-se aos teores totais de N e, portanto, os maiores valores foram vistos onde houve maior concentração de matéria orgânica.

A decomposição da matéria orgânica na superfície dos solos de mata em resposta ao alagamento em camadas mais profundas, promove por si só uma distribuição desigual de

nutrientes ao longo do perfil. Adicionalmente, a rede de raízes finas permeando a serrapilheira, outra característica marcante das matas de galeria (Medina e Cuevas 1996, Haridasan 1998), torna-se mais densa e mais restrita à superfície em solos que passem toda, ou parte do ano, inundados. Dessa forma o processo de ciclagem passa a ser concentrado nas camadas mais superficiais do solo o que explica as diferenças na distribuição de nutrientes nos perfis verificadas entre as duas matas de galeria aqui estudadas.

Na mata semidecídua, verificou-se valor médio de P superior ao das matas de galeria em apenas um caso, que se refere ao solo superficial (0-10 cm) como mostra a Figura 1.12. Para as demais profundidades os teores de P foram semelhantes aos de áreas de cerrado sobre Latossolos. A rápida reabsorção de nutrientes nesse ecossistema é uma característica importante, onde o retorno destes à vegetação pode ocorrer diretamente da serrapilheira, via raízes superficiais finas assim como nas matas de galeria (Haridasan 1998). Há, no entanto, um diferencial quanto à produção de serrapilheira, que por ser sazonal na mata semidecídua, chega ao solo na estação seca e muito rapidamente é decomposta. A abertura do dossel e o ambiente edáfico pouco úmido nesse ecossistema, aceleram a mineralização, o que mantém o P restrito às camadas superficiais do solo pronto a ser assimilado nas primeiras chuvas.

4.2 - MUDANÇA DA VEGETAÇÃO NO PASSADO

As estimativas do índice de área foliar (Figura 1.7) mostram que gramíneas não compõe a cobertura vegetacional das áreas florestais, enquanto as áreas de cerrado apresentaram cobertura composta tanto por gramíneas, quanto por plantas lenhosas. Essa diferenciação foi responsável por bruscas mudanças no $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica na camada superficial dos solos em todas as transições entre cerrado e floresta (Figura 1.20). As diferenças que existem nos valores típicos de $\delta^{13}\text{C}$ de plantas C₃ e C₄ já são há muito conhecidas. Plantas de metabolismo C₄ (gramíneas) apresentam $\delta^{13}\text{C}$ que varia entre -15 e -10 ‰, enquanto plantas C₃ (árvores e arbustos) variam entre -30 e -24 ‰ (Smith e Epstein 1971). Dessa forma os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nos solos de cerrado, intermediários entre os de plantas C₃ e C₄, são consistentes, uma vez que este ecossistema representa uma mistura desses dois grupos de plantas. Assim como também estão dentro do esperado, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nos

solos superficiais das florestas, que variaram dentro da margem de uma vegetação dominada por plantas C₃.

As mudanças observadas no δ¹³C da matéria orgânica em diferentes profundidades nos perfis do solo, podem ser causadas por dois fatores. O primeiro deles diz respeito aos efeitos diagenéticos, ou seja, transformações nas características físicas, químicas e biológicas que atuam desde a deposição inicial da matéria orgânica, até durante, ou mesmo após, seu processo de litificação nas camadas mais profundas do solo. Esse tipo de transformação causa aumento na proporção de ¹³C em níveis normalmente da ordem de 2,5 ‰ (Martinelli et al. 1996). Já o segundo fator refere-se às mudanças da vegetação no passado, onde variações no δ¹³C em diferentes profundidades seriam explicadas pela dinâmica entre ecossistemas (cerrado e floresta), os quais possuem assinaturas isotópicas diferenciadas.

Dessa forma, a determinação das possíveis mudanças vegetacionais ocorridas no passado, partiu da comparação do δ¹³C, verificado nas diferentes profundidades nos perfis, com as assinaturas isotópicas definidas para vegetação de cerrado e de florestas no momento atual (Figura 1.21). Variações de δ¹³C nos perfis da ordem de 2,5 ‰, não foram consideradas como produto da mudança vegetacional, uma vez que podem ter sido causadas por processos diagenéticos.

Transições entre matas de galeria e cerrado

As diferenças entre o δ¹³C da matéria orgânica do solo superficial (0-10 cm) e o encontrado nas camadas mais profundas do solo das matas de galeria e da borda entre cerrado e mata, foram superiores a 8 ‰ (Figura 1.22 e 1.23) e, portanto, representam mudanças na vegetação no passado. Aparentemente parte das áreas de ambas matas de galeria estudadas já foi coberta anteriormente por vegetação aberta, com assinatura isotópica equivalente às verificadas atualmente nas áreas de cerrado. As mudanças na composição isotópicas assinalam uma expansão florestal sobre o cerrado de pelo menos 40 m na transição da mata do Taquara e de pelo menos 20 m na mata do Pitoco.

Nessas duas matas de galeria, Pitoco e Taquara, a expansão registrada ocorreu em um mesmo período, há 3080 e 3190 anos atrás, respectivamente. Mas essas estimativas, feitas com base em análise de ^{14}C podem estar subestimadas, pois, exudados de raízes vivas presentes no solo atualmente podem modificar o ^{14}C mesmo de camadas mais profundas. De modo que a idade estimada pela datação da matéria orgânica do solo representa o momento mais recente em que as mudanças na vegetação podem ter ocorrido (Victoria et al. 1995, Martinelli et al. 1996, Trumbore 2000, Sanaiotti *et al.* 2002).

Apesar disso os resultados da datação com ^{14}C são consistentes com estudos feitos no Brasil que mostram no mesmo período, uma mudança geral de formações savânicas, para formações florestais (Martinelli et al. 1996). Os resultados também são consistentes com estudos paleoecológicos que demonstram que houve durante o Pleistoceno e o Holoceno um período de clima mais seco do que clima atual. Argumento reforçado por evidências Palinológicas que também registram maior abundância de pólen de gramíneas, forte indicação de período seco, ocorrida entre 6000 e 4000 anos atrás (Absy 1980, Servant *et al.* 1989, Markgraf 1989, Absy *et al.* 1991, Ledru 1992).

As mudanças observadas aqui, no entanto, não ocorreram todas de uma só vez. Aparentemente a substituição de áreas de cerrado por áreas de cobertura florestal, nas transições entre cerrado e matas de galeria teve início aproximadamente 3000 anos atrás e continuou ocorrendo até o presente, o que pode ser verificado a 50 cm de profundidade nos perfis dentro da mata do Pitoco, onde foram registradas mudanças na vegetação mais recentes, que datam de 390 anos atrás (Figura 1.23).

Mais evidências dessa expansão continuada podem ser verificadas no perfil a 10 m dentro do cerrado no transecto da mata do Pitoco (Figura 1.23). Nesse perfil percebe-se assinatura isotópica próxima à verificada na mata de galeria, o que sugere um contínuo adensamento de plantas lenhosas. A comum presença de espécies florestais, estabelecidas em áreas de cerrado, acrescida da incomum presença de espécies de cerrado crescendo no interior das matas de galeria, reforça a tese de que essas matas estão prontas a avançar sobre os cerrados, uma vez dadas as condições para que isso ocorra.

Os resultados obtidos para composição isotópica nos perfis das áreas de cerrado indicam a estabilidade dessa fisionomia quanto a sua estrutura ao longo do tempo. Apesar disso, nos perfis analisados no cerrado da mata de galeria do Taquara (Figura 1.22) aparentemente houve no passado domínio da cobertura de gramíneas, o que forneceu ao solo matéria orgânica com valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -14 ‰. Já nos solos mais superficiais o que se verificou foi a assinatura de uma vegetação de cerrado onde o componente arbóreo contribui mais para a cobertura da vegetação, o que pode ser percebido a partir de valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos a -20‰.

Transição entre mata semidecídua e cerrado

A análise do solo nos perfis desta transição mostrou que houve mudança na vegetação onde hoje se encontra a borda entre mata e cerrado. Neste local foi verificado um claro sinal de vegetação florestal a 80 e a 100 cm de profundidade no perfil. Na profundidade de 90 cm o $\delta^{13}\text{C}$ verificado indica que nesse período a vegetação foi de transição entre cerrado e mata (Figura 1.24). Aparentemente houve uma movimentação na borda no passado (90 cm de profundidade), onde a área de floresta diminuiu e em seguida aumentou (80 cm de profundidade), posteriormente diminuindo novamente e permanecendo estável até o momento presente.

A descontinuidade dos perfis próximos à borda impede uma confirmação dessa movimentação, ou mesmo uma estimativa de quanto se deslocou a borda entre cerrado e mata nesse período. Entretanto, nos perfis a 50 m da borda, dentro mata e dentro do cerrado, onde foi possível a amostragem do solo até 100 cm de profundidade, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ demonstram estabilidade da vegetação florestal. Foi verificado, no entanto, no perfil a 50 m da borda dentro da área de cerrado a 90 e 100 cm de profundidade, valor de $\delta^{13}\text{C}$ característico de uma vegetação de transição (Figura 1.24). Dessa forma é possível admitir que houve uma redução da vegetação florestal, que provavelmente cobria área superior à verificada atualmente.

Nesta transição, onde os teores de nutrientes no solo não são limitantes (Figura 1.17 e 1.18) e, portanto, não determinam a interrupção da cobertura florestal, variações climáticas no passado podem ser responsáveis pelo movimento de contração do estrato arbóreo. Sabe-se, por exemplo, que a distribuição das florestas estacionais se deu ao longo de todo o continente em

períodos mais secos, ficando posteriormente restrita a fragmentos isolados (Prado e Gibbs 1993, Miles *et al.* 2006). Atualmente a distribuição das florestas estacionais da região dos neotropicais é fragmentada e na maioria das vezes disjunta, ocupando regiões onde a precipitação anual varia de 1000 a quase 3000 mm por ano com pelo menos alguns meses secos no ano (Ricklefs 2003). As mudanças climáticas ocorridas no Quaternário, que apresentava um clima mais seco do que o clima atual no Pleistoceno e no Holoceno (Ledru 1992), além da grande expansão das plantas de metabolismo C₄, neste mesmo período, especializadas em ocupar áreas de climas tropicais, são os prováveis fatores que levaram à redução desse tipo de floresta que passaram a ocorrer em refúgios, ou áreas fragmentadas (Pennington *et al.* 2000, Miles *et al.* 2006).

A ação antrópica tem também grande influência sobre as dinâmicas no passado das florestas estacionais. Segundo Felfili (2003) essas florestas já ocuparam áreas sobre latossolos e apresentavam espécies sempre verdes, muitas das quais comuns às matas de galeria em solos bem drenados e aos cerradões, que foram praticamente extintas pela atividade humana. A exemplo do cerrado e do cerradão, estes solos, por serem planos e com boa estrutura física, foram objeto de intensa degradação desde o começo da ocupação humana no Brasil central. Essa degradação em grande parte movida pelo início da atividade agropecuária tem como agravante o interesse por espécies típicas das florestas estacionais que são comercialmente interessantes quais sejam: *Aspidosperma pyrifolium*, “Peroba-rosa”, (Apocynaceae); *Myracruodion urundeava*, “Aroeira” (Anacardiaceae); *Amburana cearensis*, “Amburana” (Leguminosae); *Tabebuia roseo-alba* “Ipê-branco” (Bignoniaceae); *Chorisia speciosa*, “Paineira” (Bombacaceae); *Astronium fraxinifolium*, “Gonçalo-Alves” (Anacardiaceae); *Cedrela fissilis* “Cedro” (Meliaceae).

O fogo, o desmatamento e a mineração de rochas calcárias estão hoje entre as maiores causas de perturbações nas florestas estacionais. A exploração econômica de madeira é bastante comum, e a estação seca propensa à ocorrência de grandes queimadas. Fatores que aliados ao quase total desconhecimento deste ecossistema por grande parte da população, podem promover uma acelerada e definitiva transformação dessas florestas em áreas savânicas, independentemente das mudanças no clima ou da ecologia e dinâmica entre ecossistemas.

Transição entre cerradão e cerrado

O resultado da composição isotópica nos perfis do solo mostra estabilidade e demonstra que não houve movimentação entre cerradão e cerrado. Apesar disso, verifica-se uma tendência de favorecimento das espécies arbóreas, provavelmente um adensamento da cobertura arbórea do cerradão, verificado pelo incremento do sinal de plantas C₃. O comportamento das curvas de $\delta^{13}\text{C}$ na área do cerradão sugerem que o enriquecimento em ^{13}C verificado com o aumento a profundidade poderia ser função de processos diagenéticos, uma vez que não há no perfil da borda um enriquecimento que sugira a mudança de vegetação de cerrado para cerradão (Figura 1.25).

Martinelli *et al.* (1996) discutem variações no $\delta^{13}\text{C}$, que pode ir para valores menos negativos de acordo com o aumento da profundidade. Segundo os autores, variações da ordem de 2,5 ‰ podem ser explicadas pela continuidade do fracionamento do carbono durante o processo de decomposição, não estando necessariamente ligadas à mudança de vegetação. Esse processo não explicaria a variação aqui observada que foi em torno de 4 %. De modo que é razoável supor que apesar de não haver uma dinâmica entre cerradão e cerrado, houve um adensamento da vegetação arbórea restrita ao interior do cerradão. Essa possibilidade é reforçada pelo fato dos perfis da borda, bem como os perfis de cerrado, terem apresentado composição isotópica estável, com variações inferiores a 2,5 ‰ (Figura 1.25).

Pode-se considerar, portanto, a transição entre cerrado e cerradão estável ao longo do tempo, mas, com indícios de adensamento da vegetação arbórea. Segundo Marimon-Junior e Haridasan (2005) não existem no solo atual diferenças nutricionais entre cerrado e cerradão capazes de explicar a existência dessas duas fisionomias. Sendo a provável explicação para a origem do cerradão ligada a melhores condições edáficas no passado (Haridasan 1992), o que teria permitido o desenvolvimento de maior biomassa, em comparação a áreas de cerrado, de modo que a manutenção deste ecossistema se dá, principalmente, em função da reciclagem e conservação dos nutrientes retidos na floresta (Marimon-Junior e Haridasan 2005, Haridasan 1992).

Os resultados da composição isotópica que demonstram a estabilidade da fronteira, bem como os resultados nutricionais anteriormente discutidos (Figura 1.25 e 1.16), são novos elementos no sentido de confirmar essa teoria. Entretanto, devem existir outras variáveis envolvidas, que justifiquem o possível adensamento da vegetação arbórea do cerradão. Trabalhando no mesmo local onde foi estabelecido o transecto aqui estudado Ribeiro (1983) constatou que apesar de não haver diferenças nutricionais ou mesmo nos teores de Al no solo capazes de explicar as diferenças estruturais entre cerradão e cerrado, existem diferenças na capacidade de retenção de água entre essas fisionomias em função da textura do solo que é mais argilosa na área de cerradão. O autor conclui que, tanto cerrado quanto cerradão, nesse local, estão estabelecidos sobre o mesmo solo (Latossolo Vermelho Escuro) e é possível que a causa de maior biomassa vegetal no cerradão seja a diferenciação florística, com a presença de espécies mais adaptadas a solos com maior disponibilidade de água.

4.3 – MECANISMOS DE EXPANSÃO DAS MATAS DE GALERIA

A expansão das matas de galeria teve início entre 3000 e 4000 anos atrás, continuou a ocorrer até pelo menos 390 anos atrás e há indícios de que continua acontecendo (Figura 1.22 e 1.23). As mais antigas datas de expansão aqui registradas coincidem com as estimativas de outros estudos que utilizaram a mesma técnica (Martinelli *et al.* 1996, Sanaiotti *et al.* 2002) bem como de estudos palinológicos (Absy 1980, Servant *et al.* 1989, Markgraf 1989, Absy *et al.* 1991, Ledru 1992). Esses registros de mudanças na vegetação, que se iniciaram simultaneamente em diversas partes do Brasil, permitem que se assuma a mudança climática como a principal responsável pela expansão das matas de galeria.

Apesar disso, aparentemente não foi a variação na disponibilidade de água que desencadeou essa expansão nas matas de galeria, pois o incremento da biomassa da vegetação de cerrado é limitado não pela inacessibilidade do recurso hídrico, mas sim, pela limitação nutricional (Haridasan 1998, 2005). As concentrações de nutrientes, anteriormente discutidas, foram muito superiores nos solos sob as matas quando comparadas às dos solos de cerrado, enquanto os solos das bordas tenderam a concentrações intermediárias (Figura 1.9 a 1.15). Os teores de N, P e Ca que são os nutrientes mais limitantes ao desenvolvimento de vegetação lenhosa nas áreas de cerrado do Brasil central (Haridasan 2005) seguiram exatamente esse padrão.

Dessa forma é necessário considerar que para haver expansão florestal sobre áreas de cerrado, deve haver necessariamente a entrada de nutrientes adicionais no ecossistema. As matas de galeria, por estarem localizadas ao longo dos córregos, ou seja, nas menores cotas do relevo, recebem nutrientes por meio do fluxo de água superficial e também do lençol freático de locais mais elevados no relevo. Esse fluxo de água durante centenas de anos poderia ter transportado os nutrientes necessários para promover a expansão das matas, mesmo considerando a baixa mobilidade de nutrientes essenciais como o P.

Mudanças climáticas que levem ao incremento da evapotranspiração e consequentemente maior drenagem de campos úmidos poderiam também promover o estabelecimento de matas de galeria onde hoje a profundidade do lençol limita a ocorrência de espécies arbóreas. Entretanto, esse fenômeno só poderia justificar a expansão florestal da mata do Taquara, estabelecida sobre solos hidromórficos, uma vez que a mata do Pitoco está sobre solos profundos e bem drenados. Além disso, desde o Holoceno, período provável em que se deu o início da expansão das matas, a região do Brasil central passou a ter clima mais úmido (Ledru 1992), o que refuta a hipótese da drenagem atuar sobre campos inundáveis abrindo novas fronteiras para expansão de matas de galeria.

Existe ainda uma possibilidade onde a entrada de nutrientes no ecossistema das matas poderia ocorrer pela deposição atmosférica permitindo a expansão das florestas. Isso implicaria, entretanto, em uma entrada de nutrientes da mesma magnitude nos cerrados assim como em outras fisionomias florestais que não apresentaram expansão, contudo, nas matas de galeria a maior concentração de matéria orgânica no solo favoreceria uma mais eficiente retenção destes nutrientes. Uma outra possibilidade alternativa para explicar a expansão das matas é a de que os nutrientes já se encontravam no sistema anteriormente, mas as matas eram limitadas por outros fatores como efeitos indiretos do clima sobre a freqüência do fogo, por exemplo.

4.4 – O PAPEL DA EXPANSÃO DAS MATAS DE GALERIA COMO POSSÍVEL SUMIDOURO DE CARBONO

O atual interesse da comunidade científica no balanço de carbono global coloca a questão da expansão das matas de galeria em uma condição particularmente relevante. Atualmente as

emissões antropogênicas de CO₂ para a atmosfera é de aproximadamente 7,9 Gt de carbono por ano. Apesar disso, medições têm demonstrado um acréscimo na concentração atmosférica de 3,2 Gt por ano, ou seja, um valor muito inferior ao previsto (Schimel *et al.* 2000).

Por isso, estudos recentes têm cogitado a existência de um sumidouro de carbono ainda desconhecido, que pode estar ligado às dinâmicas e processos das florestas tropicais como sugerido por Stephens *et al.* (2007). A expansão aqui verificada para matas de galeria, fornece um novo elemento em apoio a essa idéia e surge como um possível sumidouro de carbono não levado em conta até então.

As estimativas de biomassa aérea da vegetação nessas florestas variam entre 13 to 15 kg m⁻² (Paula *et al.* 1990, 1993, Encinas *et al.* 1995), o que é muito superior às estimativas de cerrado, que mesmo quando consideradas raízes e parte aérea, raramente superam 8 kg m⁻² (Abdala *et al.* 1998). Além disso, existe grande diferença no potencial de estoque de carbono dos solos de cerrado e de mata, como anteriormente discutido (Figura 1.19).

As matas de galeria que existem atualmente dentro da Reserva Ecológica do Roncador - IBGE cobrem uma área total de 178 ha ou 13,2 % da área total da reserva (Figura 1.25). Considerando apenas o carbono orgânico do solo isso representa um estoque de pelo menos 67.500 e no máximo de 170.700 toneladas de carbono, considerando o estoque de carbono até 1 metro de profundidade no solo da mata do Pitoco (380 Mg ha⁻¹) e do Taquara (960 Mg ha⁻¹) respectivamente (Figura 1.19).

Se essa mesma área fosse coberta por vegetação de cerrado (200 Mg ha⁻¹) o estoque de carbono no solo, seria de apenas 35.500 toneladas. Portanto, a cobertura florestal proporcionada pelas matas de galeria incrementa no solo, a fixação de carbono numa magnitude de 2 a 5 vezes superior aos valores verificados no cerrado. Esta estimativa é subestimada, uma vez que a fixação de carbono na biomassa da vegetação da mata, muito superior à do cerrado, não está sendo considerada.

O perímetro atual dessas matas de galeria dentro da área da Reserva Ecológica do IBGE é de 24.000 m, uma expansão em 10 m da borda em direção ao cerrado causaria um incremento de 13,5 % na área total ocupada por matas de galeria (Figura 1.26). Em uma escala local, isso representa um incremento entre 4.320 e 18.240 toneladas de carbono fixado apenas no solo sob a mata, utilizando o percentual de carbono orgânico das matas do Pitoco e do Taquara respectivamente (Figura 1.19). Essa estimativa mais uma vez é subestimada, pois não está sendo considerado o montante do carbono fixado na vegetação.



Figura 1.26 – Área total, perímetro atual das matas de galeria na área da reserva ecológica do IBGE, Brasília – DF e simulação de área e perímetro em caso de expansão ou contração das matas em 10 m de distância das atuais bordas.

Extrapolando essa estimativa para todo o bioma Cerrado, 10 m de expansão das matas de galeria, que são responsáveis por aproximadamente 5 % da cobertura vegetal atual do bioma, representaria um incremento aproximado de $1,35 \times 10^6$ ha. O que significa dizer um incremento em carbono fixado, variável entre 0,24 e 1 Gt. Esse cálculo ilustra, que a expansão das matas de galeria, observadas sobre áreas de cerrado, tem o potencial para ser um forte

sumidouro terrestre de carbono atmosférico. Contudo, esse potencial pode ser comprometido pela intensa antropização dos ambientes naturais no bioma. Pode-se sugerir a partir dos dados obtidos, que seja revista a atual legislação ambiental, onde são consideradas hoje, sob regime de preservação permanente, vegetações ripárias à distância mínima de 30 m do leito de rios ou córregos. Uma política pública capaz de dar maior proteção ou mesmo, de incentivar atividades que favoreçam a expansão desse tipo de floresta, pode conciliar interesses ecológicos e econômicos através de incentivos financeiros como os recursos internacionais voltados à aquisição de créditos de carbono.

5 - CONCLUSÕES

Todas as fitofisionomias florestais avaliadas apresentaram transição brusca com vegetação aberta de cerrado, ocorrendo em distâncias de no máximo 20 m de extensão. Essas transições foram normalmente associadas a gradientes edáficos, com maiores teores de C orgânico e nutrientes nos solos florestais. Esses gradientes foram mais acentuados nas áreas entre cerrados e matas de galeria. Nas transições entre cerrado e mata semidecídua, não foram tão claros e na transição entre cerradão e cerrado as características dos solos mostraram-se muito similares. Portanto, a fertilidade dos solos não explica as diferenças estruturais entre essas fisionomias. Na transição entre cerrado e mata semidecídua os nutrientes do solo também não podem ser indicados como fator que limita a distribuição florestal, pois tanto cerrado quanto mata nesta transição apresentaram altos teores nutricionais. É provável que aspectos ligados ao regime hídrico e ações antrópicas tenham maior relevância na distribuição dessa formação florestal. A disponibilidade de nutrientes nos perfis de solo variou de acordo com a profundidade. As maiores amplitudes de variação ocorreram nos perfis de solos florestais, onde as concentrações, verificadas nas camadas superficiais, foram mais elevadas do que as observadas nas camadas mais profundas. Nos perfis de solos de cerrado a variação na distribuição de nutrientes com a profundidade foi menos expressiva, contudo, os solos superficiais também apresentaram melhores condições nutricionais. Já nos perfis das bordas entre florestas e cerrados a disponibilidade de nutrientes foi variável, estando por vezes próxima dos padrões de distribuição e concentrações verificadas nos solos sob florestas e, em alguns casos, mais similar aos solos sob cerrado.

Cada uma das transições estudadas apresentou características edáficas distintas que estão relacionadas ao material de origem dos solos. Os solos da transição entre mata semidecídua e cerrado, mostraram-se mais ricos e menos ácidos do que os solos das demais áreas estudadas. Essa maior fertilidade foi vista principalmente nos teores de Ca, Mg e micronutrientes, muito elevados mesmo nos solos sob cerrado. As matas de galeria apresentaram os maiores teores de N e P, que foram estreitamente relacionados com os teores de carbono orgânico. As duas matas de galeria estudadas mostraram-se distintas quanto ao estoque total de carbono e de nutrientes no solo, tendo a mata do Taquara solos mais ricos e de maiores concentrações de

carbono orgânico quando comparada à mata do Pitoco. Fato este que está provavelmente relacionado ao regime hídrico diferenciado entre essas florestas.

Os resultados da composição isotópica de carbono na matéria orgânica do solo, demonstram que as duas matas de galeria estão em processo de expansão. Foi registrado o avanço de pelo menos 40 m da mata do Taquara e de pelo menos 20 m da mata do Pitoco, sobre as áreas de cerrado adjacente. Essa expansão florestal teve início aproximadamente 3000 anos atrás e continua ocorrendo, com mudanças na vegetação mais recentes que 390 anos. Dentre as fisionomias avaliadas as matas de galeria parecem ser as únicas que se encontram em processo de expansão. A mata semidecídua apresentou indícios que, embora não conclusivos, sugerem uma retração florestal em detrimento à cobertura de vegetação aberta. Já a transição entre cerradão e cerrado apresentou consistentes sinais de estabilidade, havendo, apesar disso, indícios de adensamento da cobertura de espécies arbóreas no interior cerradão.

A expansão das matas de galeria pode ser um forte sumidouro de carbono, não somente pela maior produção de biomassa aérea, mas principalmente pela incorporação de carbono orgânico no solo. Os mecanismos envolvidos na expansão dessas matas, bem como a possibilidade desse fenômeno ocorrer em escalas maiores, devem ser melhor investigados . Esse processo de expansão natural de florestas pode servir a interesses tanto ecológicos quanto econômicos, por meio da utilização de incentivos financeiros vigentes como o crédito de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA G.C., CALDAS L.S., HARIDASAN M., EITEN G. (1998). Above and below-ground organic matter and root-shoot ratio in a cerrado in central Brazil. Brazilian Journal of Ecology, 2, 11-23.

AB'SABER A.N. (1977). Espaços Ocupados pela Expansão dos Climas secos na América do Sul por ocasião dos períodos Glaciais Quaternários. Paleoclimas. 3, 1-9 Universidade de São Paulo.

ABSY M.L. (1980). Dados sobre as mudanças do clima e da vegetação da Amazônia durante o Quarternario. Acta Amazonica, 6, 293-299.

ABSY M.L., CLEEF A., FOURNIER M. *et al.* (1991). Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. Comptes Rendus de L'Academie de Sciences de Paris Série II, 312, 673-678.

BATALHA M.A., MANTOVANI W. E MESQUITA JR., H.N. (2002). Vegetation stucture in cerrado physiognomies in southeastern Brazil. Brazilian Journal of Biology 61, 475-483.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. (1982). Nitrogen - total. In: Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. (Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R., eds.) pp. 595-624. Madison: American Society of Agronomy. 2nd ed. Agronomy monograph, 9.

BURROWS W.H., CARTER J.O., SCANLAN J.C. E ANDERSON E.R. (1990). Management of savannas for livestock production in north-east Australia: contrasts across the tree-grass continuum. Journal of Biogeography. 1, 7, 503-512.

BURROWS W.H., COMPTON J.F. E HOFFMANN M.B. (1998). Vegetation thickening and carbon sinks in the grazed woodlands of north-east Australia. In: Proceedings, Australian Forest Growers Conference pp. 305-316. Lismore.

CHAPIN F.S., WALKER B.H., HOOBS R.J., HOOPER D.U., LAWTON J.H., SALA O.E., TILMAN D. (1997). Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science*. 277, 63-87.

COUTINHO L.M. (1978). O conceito de Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, 1, 17-23.

COUTINHO L.M. (2006). O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, Brasília, 20 1, 13-23.

DAWSON T.E., BROOKS P.D. (2001). Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement. In: *The Application of Stable Isotope Techniques to Study Biological Processes and the Functioning of Ecosystems*. (M. Unkovich, A. McNeill, J. Pate and J. Gibbs, eds.), pp. 1-18. Kluwer Academic Press.

DUSSART E., LERNER P. AND PEINETTI R. (1998). Long-term dynamics of two populations of *Prosopis caldenia* Burkart. *Journal of Range Management*. 5, 1, 685-691.

EITEN G. (1972). The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*. 38, 205-341.

EITEN G. (1979). Formas fisionômicas do Cerrado. *Revista Brasileira Botânica*. 2, 139-148.

EITEN G. (1984). Vegetation of Brasília. *Phytocoenologia*. 12, 271-292.

EITEN G. (1990). Vegetação do Cerrado. In: *Cerrado: caracterização ocupação e perspectiva* (Pinto M.N., org.) SEMATEC/UnB, Brasília, p. 9-65.

EMBRAPA. (1997). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) 212p.

EMBRAPA. (1999). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília. 412p.

EMBRAPA. (2005). Manual de laboratórios: Solo, Água, Nutrição Animal e Alimentos (A.R.A. NOGUEIRA e G.B. SOUZA, eds.) Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, SP, 313p.

ENCINAS J.I., KLEINN C., PAULA J.E. (1995). Wood Biomass of one gallery forest. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 30, 4, 421-427.

FELFILI J.M. (2003). Fragmentos de Florestas Estacionais do Brasil Central: diagnóstico e propostas de corredores ecológicos. In: Fragmentação Florestal e Alternativas de Desenvolvimento Rural na Região Centro-Oeste. (R.B. Costa, org.) pp. 139-160 UCDB, Campo Grande.

FURLEY P.A. (1985). Notes on the soils and plant communities of Fazenda Água Limpa, Brasilia, DF. Occasional Publications, N.S., nº 5, Department of Geography, University of Edinburgh, Edinburgh. 138 p.

FURLEY P.A. (1992). Edaphic changes at the forest-savanna boundary with particular reference to the neotropics. Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries (P.A. Furley, J. Proctor e J.A. Ratter, eds.), pp. 91–115. Chapman e Hall, London.

HARIDASAN M. (1990). Solos do Distrito Federal. In: Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas (Pinto M.N., org.), pp. 310-330. Brasília, Editora Universidade de Brasília.

HARIDASAN M. (1992). Observations on soils, foliar nutrient concentrations and floristic composition of cerrado sensu stricto and cerradão communities in central Brazil. Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries (P.A. Furley, J. Proctor e J.A. Ratter, eds), pp. 171–184. Chapman e Hall, London.

HARIDASAN M. (1998). Solos de matas de galeria e nutrição mineral de espécies arbóreas em condições naturais. In: Cerrado: matas de galeria. (Ribeiro J.F., org.), pp. 17-27. Planaltina, DF: Embrapa.

HARIDASAN M. (2005). Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado. p. 167-178. In: Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. (Scariot A., Felfili J.M., Sousa-Silva J.C., eds.), pp.169-178. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.

HOFFMANNN W.A., SILVA E.R., MACHADO G.C., BUCCI S.J., SCHOLZ F.G., GOLDSTEIN G., MEINZER F.C. (2005). Seasonal leaf dynamics across a tree density gradient in a Brazilian savanna. *Oecologia*, 145, 307-316.

HOPKINS B. (1992). Ecological processes at the forest-savanna boundary. *Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries* (P.A. Furley, J. Proctor e J.A. Ratter, eds.), pp. 21–30. Chapman e Hall, London.

JOBBAGY E.G., JACKSON R.B. (2004). The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales. *Ecology*, 85, 2380-2389.

LEDRU M.P. (1992). Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research*, 39, 90-98.

LEPSCH I.F., BUOL S.W. (1988). Oxisol-landscape relationships in Brazil. In: International soil classification workshop. pp.174-189. Proceeding part 1,. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/USDA/UFPR.

MARIMON-JUNIOR B. H. E HARIDASAN M. (2005). Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso. *Acta Botanica Brasílica*. 19, 913-926.

MARKGRAF V. (1989). Paleoclimates in Central and South America since 18,000 BP based on pollen and lake-level records. *Quaternary Science Reviews*, 8, 1-24

MARTINELLI L.A., PESSENCIA L.C.R., ESPINOZA E. (1996). Carbon-13 depth variation in soil of Brazil and relations with climate changes during the Quaternary. *Oecologia*, 106, 376-381.

McCULLEY R.L., JOBBÁGY E.G., POCKMAN W.T. E JACKSON R.B. (2004). Nutrient uptake as a contributing explanation for deep rooting in arid and semi-arid ecosystems, *Oecologia*, 141, 620–628.

MEDINA E. e CUEVAS E. (1996). Biomass production and accumulation in nutrient-limited rain forests: Implications for responses to global change. In: Amazonian Deforestation and Climate. (Gash J.H.C., Nobre C.A., Roberts J.M., Victoria R.L., eds.), pp. 221-239. Wiley, Chichester, U.K.

MENDONÇA R., FELFILI J.M., WALTER B.M.T., SILVA-JÚNIOR M.C., REZENDE A.V., FILGUEIRAS T.S. e NOGUEIRA P.E.N. (1998). Flora lenhosa do bioma cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora (Sano S.M. e Almeida S.P., orgs.), pp. 287-556. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

MELICH A. (1953). Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH. North Caroline Soil Testing Division. (dados não publicados)

MILES L., NEWTON A.C., DEFRIES R.S., et al. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33, 491-505.

MOTTA P.E.F., CURI N. E FRANZMEIER D.P. (2002a). Relations of soils and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. (Oliveira, P.S. and Marquis, R.J., eds.), pp. 13-32. Columbia Univ. Press, New York.

MOTTA P.E.F., CARVALHO-FILHO A., KER J.C., PEREIRA N.R., CARVALHO JR. W. E BLANCANEAUX P. (2002b). Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37, 869–878.

NASCIMENTO C.T.C., SANTOS R.V., PIRES A.C.B. (2002). Isótopos de carbono em latossolo sob cerrado nativo. *Boletim Herbário Ezequias Paulo Heringer*, 9, 69-78.

NORMAN J.M. E CAMPBELL G.S. (1989) Canopy Structure. In: *Plant Physiological Ecology: Field methods and instrumentation*. (Pearcy R.W., Ehleringer J., Mooney H.A. and Rundel P.W., eds.), pp. 301-325. Chapman e Hall, London and New York.

OLIVEIRA-FILHO A.T. e RATTER J.A. (1995). A study of the origin of Central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinburgh Journal of Botany* 52, 141-194.

OYAMA M.D., NOBRE C.A. (2003). A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 30, 51-55.

PALMER A.R. E VAN ROOYEN A.F. (1998). Detecting vegetation change in the southern Kalahari using Landsat TM data. *Journal of Arid Environment* 3, 9, 143-153.

PARRON L.M. (2004). Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico em uma mata de galeria no Distrito Federal. Tese de Doutorado em Ecologia. Universidade de Brasília Departamento de Ecologia, 180p.

PAULA J.E., ENCINAS J.I., MENDONÇA R.C., LEON D.T. (1990). Estudo dendrométrico e ecológico de mata ripária da região Centro-Oeste. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 25 1, 43-55.

PAULA J.E, ENCINAS J.I, PEREIRA B.A. (1993). Inventário de um hectare de mata ripária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28 2, 143-152.

PENNINGTON R.T., PRADO D.E. e PENDRY C.A. (2000). Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, 27 2, 261-273.

PEREIRA B.A.S., SILVA M.A. E MENDONÇA R.C. (1993). Reserva Ecológica do IBGE (Brasília, DF): lista das plantas vasculares. IBGE, Brasília, DF.

PEREIRA B.A.S., FURTADO P.P., MENDONÇA R.C. e ROCHA G.I. (1989). Reserva Ecológica do IBGE (Brasília, DF): aspectos históricos e fisiográficos. *B. FBCN* 24, 30-43.

PINTO J.R.R., OLIVEIRA-FILHO A.T. e HAY J.D.V. (2006). Influence of soil and topography on the composition of a tree community in a Central Brazilian forest. *Edinburgh Journal of Botany*, 62, 69-90.

PRADO D.E. e GIBBS P.E. (1993). Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Annals of Missouri Botanic Gardens*, 80, 902-927.

PUYRAVAUD J.P., PASCAL J.P. e DUFOUR C. (1994). Ecotone structure as an indicator of changing forest-savanna boundaries (Linganamakki Region, southern India). *Journal of Biogeography*, 21, 581-593

RADAMBRASIL. (1982). Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral, Fo11w SD 23, Brasília: Geologia, Geomorfologia. Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 660 p.

REATTO A., MARTINS E. S., FARIA M. F. R., SILVA A. V., CARVALHO JÚNIOR O. A. (2004). Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p.

RÊGO F.M.S. (1998). Geoquímica isotópica e de elementos traços de carbonatos do Morro da Pedreira (Sobradinho-DF): Uma abordagem paleoclimática. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília Instituto de Geociências. 124p.

RIBEIRO J. F. (1983). Comparação de concentração de nutrientes na vegetação arbórea e nos solos de um cerrado e um cerradão no Distrito Federal, Brasil. Dissertação. Mestrado em Ecologia, Universidade de Brasília. 87p.

RIBEIRO J.F. e WALTER B.M.T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. (Sano S.M. e Almeida S.P., orgs.), pp. 89-166. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina, DF.

RIBEIRO J.F. e WALTER B.M.T. (2001). As Matas de Galeria no contexto do bioma Cerrado. In: Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria (Ribeiro J.F., Fonseca C.E.L., Sousa-Silva J.C., eds.), pp.29-47. Embrapa Cerrados Planaltina, DF.

RICKLEFS R.E. (2003). (ed.) A economia da natureza. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 501p.

SAN JOSÉ J.J. E MONTES R.A. (1997). Fire effects on the coexistence of trees and grasses in savannas and the resulting outcome on organic matter budget. *Interciencia*, 22, 289-298.

SANAIOTTI T.M., MARTINELLI L.A., VICTORIA R.L., TRUMBORE S.E., CAMARGO P.B. (2002). Past vegetation changes in Amazon savannas determined using carbon isotopes of soil organic matter. *Biotropica*, 34, 2-16.

SANTIAGO L.S., SILVERA K., ANDRADE J.L., DAWSON T.E. (2005). El uso de isótopos estables en biología tropical. *Interciência* 30, 9, 28-35.

SCHIMEL D.S., HOUSE J.I., HIBBARD K.A. (2001). Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*, 414, 169-172.

SCHWARTZ D., DE FORESTA H., MARIOTTI A., BALESSENT J., MASSIMBA J.P. E GIRARDIN C. (1996). Present dynamics of the savanna-forest boundary in the Congolese Mayombe: a pedological, botanical and isotopic (^{13}C and ^{14}C) study. *Oecologia* 10 6, 516-524.

SERVANT M., MALEY J., TURCQ B., ABSY M.L., BRENAC P., FOURNIER M., LEDRU M.P. (1993). Tropical forest changes during the Late Quartenary in African and South American lowlands. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 7, 1- 16.

SILVA P.E.N. (1991). Estado nutricional de comunidades arbóreas de quatro matas de galeria no Brasil Central. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Departamento de Ecologia. 111p.

SILVA JÚNIOR, M.C. (1995). Tree communities of the gallery forests of the IBGE Ecological Reserve. Federal District. Brazil. Tese de Doutorado em Ecologia Florestal. Universidade de Edinburgo, Escócia. 257p.

SILVA JÚNIOR M.C. (2001). Comparação entre matas de galeria no Distrito Federal e a efetividade do código florestal na proteção de sua diversidade arbórea. *Acta Botanica Brasílica*, 15 1, 136-146.

SMITH B.N., EPSTEIN S. (1971). Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology*, 47, 380-394.

STEPHENS B.B., GURNEY K.R., TANS P.P. *et al.* (2007). Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO_2 . *Science*, 316, 1732-1735.

STERNBERG L.S.L. (2001). Savanna-forest hysteresis in the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 369-378.

TRUMBORE S. (2000). Age of soil organic matter and soil respiration: radiocarbon constraints on belowground C dynamics. *Ecological Applications*, 10, 399-411.

VICTORIA R.L., FERNANDES, F., MARTINELLI L.A., PICCOLO M.C., CAMARGO P.B., TRUMBORE S. (1995). Past vegetation changes in the Brazilian Pantanal arboreal - grassy savanna ecotone by using carbon isotopes in the soil organic matter. *Global Change Biology* 1, 165-171.

WALKLEY A., BLACK I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.

WHITMORE, T.C. e G.T. PRANCE. (1987). Biogeography and Quaternary History in Tropical America. Clarendon Press Oxford, 214p.

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS ESTABELECIDAS NATURALMENTE EM ÁREAS DE CERRADO NO DISTRITO FEDERAL

1 - INTRODUÇÃO

A distribuição de ecossistemas é derivada em maior parte de padrões ambientais, responsáveis por impor limites ao desenvolvimento da vegetação, definindo assim seu clímax (Kent e Coker 1992). Em uma escala global, assume-se que onde há repetição de certas combinações de fatores climáticos deve haver também, recorrência de um determinado tipo de vegetação apto a ali se estabelecer (Whittaker 1953, 1975). Em escalas menores a distribuição das comunidades de plantas, apesar de influenciada pelo ambiente externo, encontra nas limitações intrínsecas às espécies suas maiores restrições. A adaptação de certas espécies a uma determinada variação de fatores ambientais, por exemplo, pode tornar sua ocorrência estritamente associada a condições específicas (Brown e Lomolino 1998, Cox e Moore 1993, Tallis 1991).

Isso pode ser visto em gradientes vegetacionais típicos do bioma Cerrado, onde mesmo sujeita à influência de um clima comum, a distribuição de espécies e fitosionomias está normalmente condicionada às variações nas propriedades dos solos (Coutinho 1978, Eiten 1984, 1990, Haridasan 1992, Furley 1992, Ruggiero *et al.* 2002, Pinto *et al.* 2006). Essas variações edáficas justificam, em escala local, o mosaico vegetacional característico do bioma, onde coexistem, lado a lado, formações campestres, savânicas (cerrados) e florestais.

Contudo, apesar de bem definidos os limites de distribuição entre comunidades características dos diferentes ecossistemas do bioma Cerrado (Eiten 1990, Hopkins 1992), existem muitos gêneros que possuem espécies adaptadas a ecossistemas tão distintos quanto, por exemplo, florestas e cerrados (Mendonça *et al.* 1998). O que somente foi possível em virtude de uma eficiente estratégia de dispersão no passado (Brown e Lomolino 1998), seguida do potencial adaptativo, que iniciou processos de especiação, os quais, ocorridos em decorrência da

diversidade de habitats, determinaram o êxito destes gêneros em ocupar ambientes distintos (Brown 1998).

Dessa forma, espécies que tiveram uma origem comum, no passado, podem apresentar características muito distintas no presente (Ayres e Ryan 1999, Gottlieb *et al.* 1966). Espécies de formações florestais do Cerrado, por exemplo, em coerência com sua história evolutiva, diferem das não florestais, ainda que do mesmo gênero, quanto aos padrões de alocação de nutrientes e biomassa, durante o estabelecimento de suas plântulas (Hoffmann e Franco 2003, Hoffmann *et al.* 2005). O comportamento contrastante dessas espécies também já foi registrado quanto ao investimento em sistema radicular como estrutura de acesso e armazenamento de água e nutrientes, além de mecanismos de resistência ao fogo, características que são mais desenvolvidas nas espécies típicas de áreas savânicas (Eiten 1972, McCulley 2004, Franco 2005).

Essas distinções dizem respeito a adaptações fundamentais para a superação de obstáculos impostos pelo meio físico, os quais, limitam a expansão de nichos às espécies inaptas. A ocorrência de fogo freqüente e a baixa disponibilidade de nutrientes nos solos, são alguns desses obstáculos encontrados nas áreas de vegetação de cerrado. Essas características contrastam com as verificadas nas áreas florestais do bioma, onde o fogo pode ser considerado raro e a disponibilidade de nutrientes é, de um modo geral, mais elevada (Eiten 1990, Haridasan 2005). Apesar disso, é comum a presença de espécies características de ambientes florestais em áreas de cerrado, enquanto são raros os casos em que espécies típicas de cerrado são encontradas em áreas florestais bem preservadas (Rizzini 1963, Eiten 1972, 1978, 1984, 1990, Silva Júnior 1995, Ribeiro e Walter 1998, Ratter 1996, 2003, Méio *et al.* 2003). Isso demonstra que as limitações impostas pelo ambiente são relativas ao ecossistema e às espécies em questão, o que pode permitir o deslocamento do equilíbrio nas interfaces entre fitofisionomias, tornando a distribuição dos ecossistemas dinâmica.

A capacidade de manutenção das funções, ou, homeostase, fisiológicas, químicas e bioquímicas das plantas, muitas vezes independe de variações no meio externo (Sterner e Elser 2002). O que faz com que certas características das plantas florestais, tais como, demanda

nutricional, concentrações de nutrientes foliares, produção de serrapilheira e alocação de biomassa, sejam capazes de modificar propriedades dos solos e, consequentemente, todo o ecossistema, quando estabelecidas em áreas de vegetação aberta (Chapin *et al.* 1997, Larcher 2000, Jobbagy e Jackson 2004).

Muitos trabalhos recentes têm discutido a participação ativa da vegetação na alteração de características do meio físico (Sternberg 2001, Oyama e Nobre 2003, Jobbagy e Jackson 2004, Pinheiro e Monteiro 2006, Stephens *et al.* 2007). De modo que a presença de espécies florestais com potencial, primeiramente, de se estabelecer e posteriormente de manter suas funções ecofisiológicas, fora dos limites das florestas, podem representar a expansão da própria floresta (Pinheiro e Monteiro 2006). Assim, a origem e evolução dos ecossistemas no Cerrado, parecem estar intimamente ligadas à origem e evolução de determinadas espécies de plantas, que têm potencial para ocupar novos habitats.

Nesse sentido, o estudo de fatores que permitem o estabelecimento de espécies florestais fora de seu ambiente de origem, bem como a comparação entre estas, e espécies típicas do cerrado, são relevante às discussões a cerca da estrutura e diversidade das comunidades e ecossistemas no bioma. No presente estudo, foi investigada a presença de espécies florestais em áreas de vegetação aberta, ou, cerrados, e sua relação com características dos solos, testando-se ainda as hipóteses de que as espécies florestais possuem maior área foliar específica, menor eficiência no uso de água e maior teor de nutrientes nos tecidos, quando comparadas às espécies do mesmo gênero, características do cerrado. Foram avaliados ao todo dezoito pares congenéricos, todos estabelecidos em áreas preservadas, em três diferentes localidades do Distrito Federal.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - ÁREAS DE ESTUDO E ESPÉCIES AVALIADAS

A seleção das áreas de estudo foi baseada na ocorrência de espécies arbóreas, características de ambientes florestais, em áreas preservadas de vegetação aberta, que aqui trataremos também por cerrados. Foram assim, escolhidos três diferentes locais de amostragem no Distrito Federal: Reserva Ecológica do Roncador RECOR-IBGE, Parkway (ARIE da Granja do Ipê) e o Centro Olímpico da Universidade de Brasília, todas, localidades onde os solos predominantes são os Latossolos (Reatto *et al.* 2004). Os gêneros selecionados para compor esse estudo são de famílias botânicas diferentes, com exceção dos gêneros *Hymenaea* e *Machaerium* ambos pertencentes à mesma família, sendo, contudo, de subfamílias distintas. Todos os gêneros além de espécies características de formações florestais possuem também espécies típicas de cerrado, de forma que foram definidos 18 pares congenéricos, onde cada par é composto por uma espécie florestal e uma característica de cerrado (Tabela 2.1).

O critério de amostragem de indivíduos foi seguido para cada uma das 36 espécies (18 pares), onde foram amostrados três indivíduos por espécie, com no mínimo 15 cm de circunferência a 30 cm do solo. Dentre as espécies avaliadas a única que foi introduzida pelo homem, foi *Hymenaea martiana* espécie típica de matas de galeria (Mendonça *et al.* 1998), plantada há 30 anos em uma área de cerrado da reserva do IBGE, sem, no entanto, receber nenhum tipo de manejo ou adubação desde então.

Para a confirmação do ambiente de origem de cada uma das espécies selecionadas, como sendo características de ecossistemas florestais ou de cerrado, foi utilizada além da lista de espécies da flora vascular do Cerrado, elaborada por Mendonça *et al.* (1998), estudos que registraram não somente a ocorrência dessas espécies, mas também sua importância relativa dentro das comunidades, a partir de levantamentos fitossociológicos em áreas de cerrado sentido restrito (Borges e Shepherd 2005; Balduíno *et al.* 2005; Assunção e Felfili 2004; Felfili *et al.* 1992, 2002) ou em áreas de formações florestais do Cerrado (Santiago *et al.* 2005; Nascimento *et al.* 2004; Silva Júnior 2004; Botrel *et al.* 2002; Ivanauskas *et al.* 1999; Felfili *et al.* 1992).

Com base nesses estudos, não houve dúvidas quanto às espécies aqui tratadas como sendo características do cerrado. Já quanto às espécies florestais, as matas de galeria seriam para a maioria delas o ambiente de origem. Contudo, essas espécies apresentam ocorrência comum também em outras fisionomias florestais, além de poderem ser eventualmente encontradas em áreas de cerrado, o que inviabiliza uma determinação acurada da fisionomia florestal de origem. O que é certo, no entanto, é o fato de que essas são espécies não exclusivas e de ocorrência preferencial em ambientes florestais.

Tabela 2.1. Pares congenéricos de espécies características de cerrado e de fisionomias florestais, amostrados em áreas de vegetação aberta.

FAMÍLIA	CERRADO	FISIONOMIAS FLORESTAIS
Verbenaceae	<i>Aegiphila lhotskiana</i> Cham.	<i>A. sellowiana</i> Cham.
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. Ex DC.	<i>A. macrophylla</i> K. Schum.
Malpighiaceae	<i>Byrsinima crassa</i> Nied.	<i>B. laxiflora</i> Griseb.
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil.	<i>E. daphnites</i> Mart.
Nyctaginaceae	<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	<i>G. areolata</i> (Heimerl) Lundell
Leg/Caesalpinoideae	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart.Ex Hayne	<i>H. martiana</i> Hayne
Leg/Papilionoideae	<i>Machaerium opacum</i> Vogel	<i>M. acutifolium</i> Vogel
Melastomataceae	<i>Miconia burchelli</i> Triana	<i>M. cuspidata</i> Mart. Ex Naudin
Myrsinaceae	<i>Myrsine ferruginea</i> (Ruiz & Pav.)Spreng.	<i>M. guianensis</i> (Aubl.) Kuntze
Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Baill.	<i>O. castaneifolia</i> (DC.) Engl.
Asteraceae	<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	<i>P. macropoda</i> (DC.) Baker
Sapotaceae	<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	<i>P. torta</i> var. <i>glabra</i> (Mart.)Radlk.
Araliaceae	<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham&Schltdl)Frodin	<i>S. morototoni</i> (Aubl)Maguire,Steyermark&Frodin
Styracaceae	<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	<i>S. pohlii</i> A.DC.
Symplocaceae	<i>Symplocos rhamnifolia</i> A. DC.	<i>S. mosenii</i> Brand.
Bignoniaceae	<i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl.	<i>T. serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson
Combretaceae	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	<i>T. glabrescens</i> Mart.
Vochysiaceae	<i>Vochysia thyrsoides</i> Pohl	<i>V. tucanorum</i> Mart.

2.2 - PARÂMETROS AVALIADOS E ANÁLISE DE DADOS

Cada uma das espécies estudadas teve três indivíduos amostrados, dos quais foram feitas coletas de folhas, tronco e solo, em Julho de 2006 (estaçao seca), para avaliação dos seguintes parâmetros: teor de nutrientes nas folhas, tronco e solo, área foliar específica, eficiência no uso de água e densidade da madeira. A amostragem foliar visou folhas maduras, completamente expandidas, localizadas na parte externa das copas. Para as coletas de tronco foi utilizado trado modelo sueco de 4 mm de diâmetro para retirada de baguetas (Figura 2.1) a 30 cm de altura do

solo, sendo calculada a densidade verde e seca a partir da massa e do o volume das baguetas. As amostras de solo foram coletadas na vizinhança imediata de cada um dos indivíduos a uma profundidade de 0-10 cm.

Para as análises de nutrientes nas folhas e nos troncos foi realizada a digestão total das amostras seguida da determinação de N por colorimetria em um espectrofotômetro UV-visível e dos demais macro e micronutrientes, por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP Plasma – Thermojarrel, JICA-Japão) conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2005). Dentre as análises químicas de solo, a disponibilidade de P, K e dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) foi determinada de acordo com Mehlich (1953) em extração ácida ($0,05\text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,05\text{ M HCl}$), e medidos com o espectrofotômetro uv-visível, fotômetro de chama e espectofotômetro de absorção atômica. Os nutrientes Ca, Mg e o Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl (1M), o Al foi determinado por titulação ácido-base com NaOH (0,01 M) e os elementos Ca e Mg, em espectofotômetro de absorção atômica. Para o cálculo da saturação por bases foi utilizada também a acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) obtida com extração por $\text{C}_4\text{H}_6\text{CaO}_4$ (0,5 M) seguida de titulação ácido-base com NaOH (0,02 M) de acordo com EMBRAPA (1997, 2005). O N teve seu teor total no solo estimado pelo método Kjeldahl de acordo com Bremner e Mulvaney (1982) com digestão completa a 350°C seguida de titulação com H_2SO_4 . O percentual de carbono orgânico foi calculado pelo método da oxidação por via úmida (Walkley e Black, 1934), o pH foi medido numa solução 1:2,5 de solo-água e a densidade aparente determinada, pela razão entre a massa seca e o volume, de amostras de solo indeformadas (EMBRAPA 1997, 2005).

A área foliar específica (AFE) de cada indivíduo foi obtida pela razão entre a área foliar, determinada logo após a coleta no campo, e a massa seca dessas mesmas folhas, utilizando-se cinco folhas por indivíduo. A área das folhas foi determinada em medidor de área foliar automático, *Automatic Area Meter - AAC400* (Hayashi Denkon-Tóqui, Japão). Para o cálculo da densidade verde e seca da madeira de cada um dos indivíduos amostrados, foram utilizados valores de volume e massa verde das baguetas, imediatamente após sua coleta no campo, além da massa das baguetas secas. Para determinação tanto da área foliar específica, quanto da

densidade da madeira seca, as amostras de folha e tronco foram secas por 48 h em estufa de circulação forçada a 70°C.



Figura 2.1 – Utilização do trado na extração de baguetas do tronco das espécies amostradas, para análise química e de densidade da madeira.

A eficiência do uso de água foi determinada nas folhas e troncos de cada indivíduo amostrado, indiretamente, pela análise de isótopos de carbono, $\delta^{13}\text{C}$, na biomassa vegetal, conforme descrito por Farquhar (1982). O índice de eficiência do uso de água pode ser obtido pela análise de isótopos de carbono $\delta^{13}\text{C}$, em função da distinção feita pelas plantas na assimilação do CO₂ atmosférico. A maior parte desse se apresenta na forma de ^{12}C , mas também existe na forma ^{13}C . Durante a carboxilação, a planta distingue entre os isótopos, preferindo o isótopo mais leve ^{12}C , havendo após a fixação do carbono proporcionalmente menos ^{13}C na biomassa do que no CO₂ da atmosfera. Essa discriminação do ^{13}C tem relação inversamente proporcional à eficiência da transpiração e condutância estomática. Ou seja, quanto mais negativo o valor de $\delta^{13}\text{C}$ maior a transpiração em relação uma mesma taxa de fotossíntese, e consequentemente, menor é a eficiência no uso de água pela planta (Farquhar 1982).

A relação entre isótopos para uma dada amostra costuma ser expressa em relação a um padrão de referência internacional (PDB). Sendo os valores isotópicos representados pela notação δ que fornece a variação per mil (‰). No caso do ^{13}C , por exemplo, a notação é empregada seguindo-se a equação:

$$\delta^{13}\text{C} = [((^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{amostra}} - (^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{PDB}}) / (^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{PDB}}] \cdot 1000$$

Esta relação entre carbonos foi determinada nas folhas e troncos, seções, moídos e peneirados em peneira de 2 mm de espessura. Depois de preparadas, as amostras foram analisadas em Analisador Elementar (Eurovector-Milão, Itália) acoplado a um Espectrômetro de Massa (Isoprime IRMS-Manchester, Inglaterra). Procedimentos estes realizados no laboratório de isótopos estáveis do Departamento de Biologia da Universidade de Miami, LSIETE.

Foi utilizada análise de variância, ANOVA, para a análise dos resultados e comparações entre espécies de diferentes origens (florestais e de cerrado), bem como entre os diferentes gêneros estudados. Essa análise foi feita considerando-se a variável gênero como fator aleatório e a variável ambiente de origem das espécies como fator fixo. Os valores de nutrientes de folhas, troncos, solos e área foliar específica foram, anteriormente às análises, transformados (\log_{10}), pois apresentaram heterogeneidade de variância. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$, são negativos e apresentaram variância homogênea, portanto não foram transformados. Algumas variáveis mesmo após a transformação não apresentaram variância homogênea. Nesses casos, seguiram-se normalmente as análises estatísticas dos dados transformados, uma vez que a ANOVA fatorial é robusta o suficiente, desde que o número de repetições a serem comparadas sejam iguais ou próximos, para permitir que se ignore a premissa de homogeneidade de variância (Zar 1999).

3 – RESULTADOS

3.1 – PROPRIEDADES QUÍMICAS E TEXTURA DOS SOLOS

Os solos das três áreas de amostragem apresentaram características compatíveis aos comumente encontrados sob fisionomia de cerrado, onde são esperados valores de pH abaixo de 5, baixa fertilidade e elevados teores de Al (Haridasan 1992). A acidez não foi diferenciada entre os locais de amostragem, assim como os teores de C orgânico, de N total e Ca disponível. Foram vistas, no entanto, diferenças significativas nos teores de P, K, Mg, Al e Fe (Figura 2.2). Os teores de P e K foram significativamente diferentes nos três locais de estudo, sendo os solos do Parkway os de valores mais elevados, seguido pelo centro olímpico da UnB e finalmente pelos solos do IBGE. A concentração de Mg foi semelhante quando comparados os solos do centro olímpico e do Parkway, os quais foram significativamente superiores à do IBGE. Já os teores de Al e Fe foram significativamente mais elevados nos solos do Parkway, enquanto IBGE e centro olímpico da UnB, foram semelhantes.

Apesar de todas as plantas terem sido amostradas nas mesmas áreas de cerrado, foram observadas concentrações distintas quando comparados os solos sob os indivíduos de origem florestal e sob os indivíduos de espécies características do cerrado. Os teores de N total, P, Ca, Mg e Zn trocáveis foram mais elevados sob as espécies florestais (Figura 2.3). Sendo os teores de P significativamente mais elevados sob as espécies florestais nas três áreas de amostragem, e N em duas delas (Figura 2.3). O percentual de C orgânico, também foi mais elevado nos solos sob indivíduos de origem florestal. Enquanto a textura dos solos apresentou ampla variação, indo de solos arenosos a argilosos, sem, no entanto, ter sido verificada diferenciação entre espécies florestais e de cerrado. A análise textural mostrou pequenas diferenças entre as áreas de estudo (Figura 2.4), os solos do Parkway e do centro olímpico da UnB apresentaram em todos os pontos de amostragem teores de argila que os classificam entre solos argilosos ou franco argilosos de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA 1999). Já os locais de amostragem no IBGE apresentaram solos que podem ser classificados como franco arenosos ou franco argilo arenosos, apesar da textura predominante ter permanecido entre argilosa e franco argilosa.

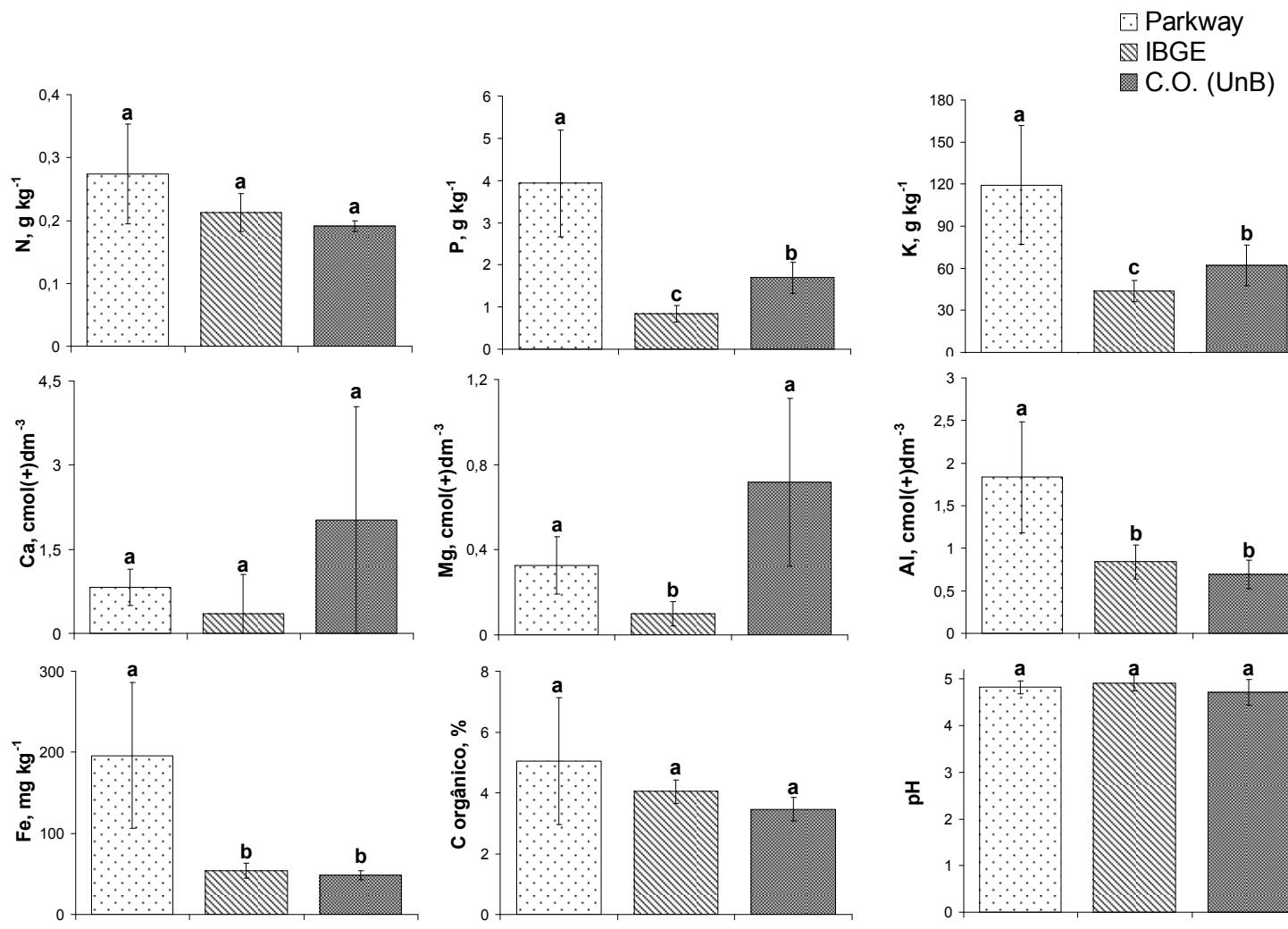


Figura 2.2 – Teor de N total, P, K, Ca, Mg, Al e Fe disponíveis, C orgânico e pH do solo, nas três áreas de cerrado amostradas. Letras diferentes representam diferenças significativas ($p < 0,05$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

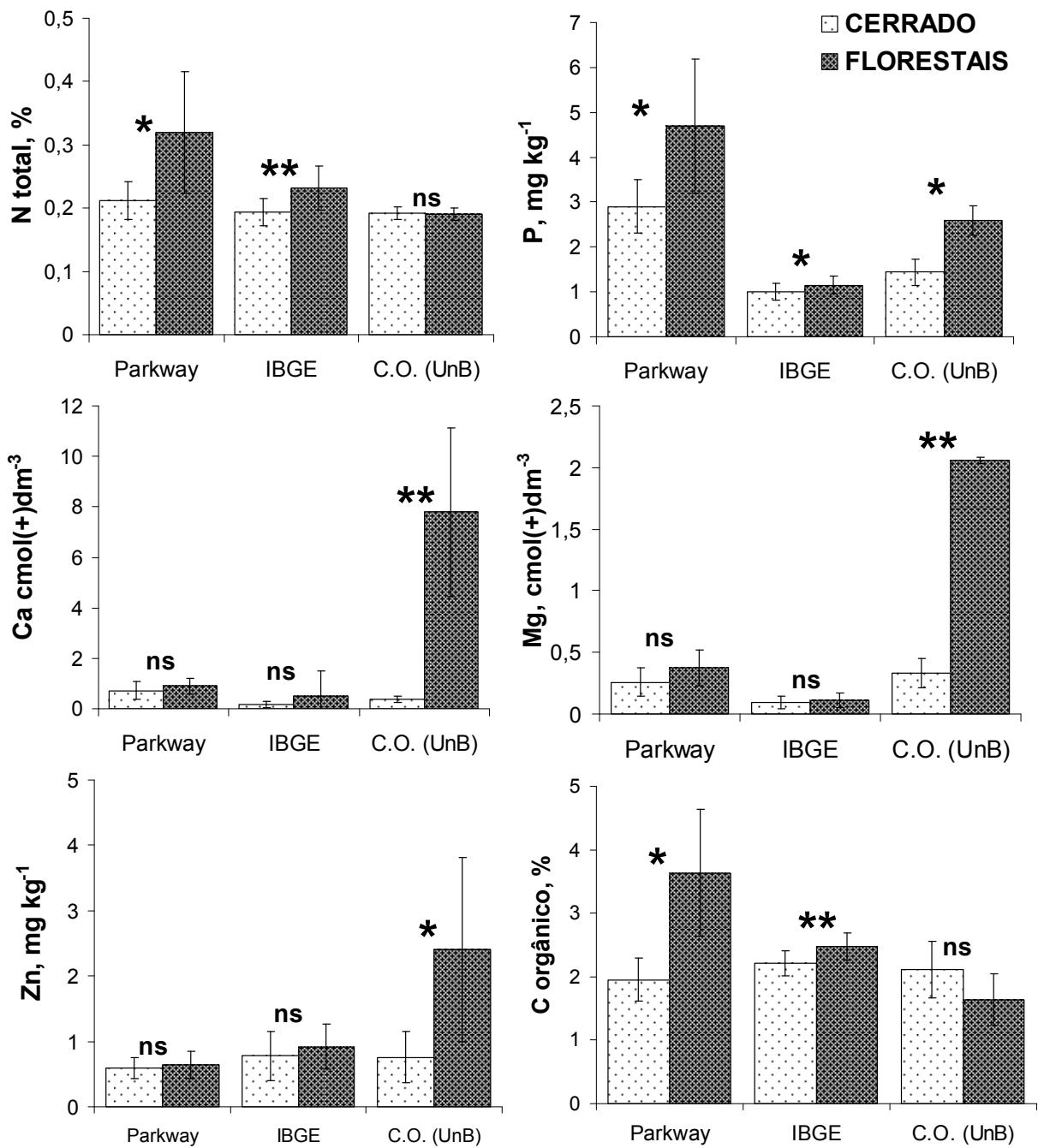


Figura 2.3 – Propriedades dos solos sob pares congenéricos de plantas características de cerrado e ambientes florestais, em cada um dos locais de estudo. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias, *($p<0,05$), **($p<0,01$) e ns (diferença não significativa) para comparações de médias entre espécies florestais e de cerrado.

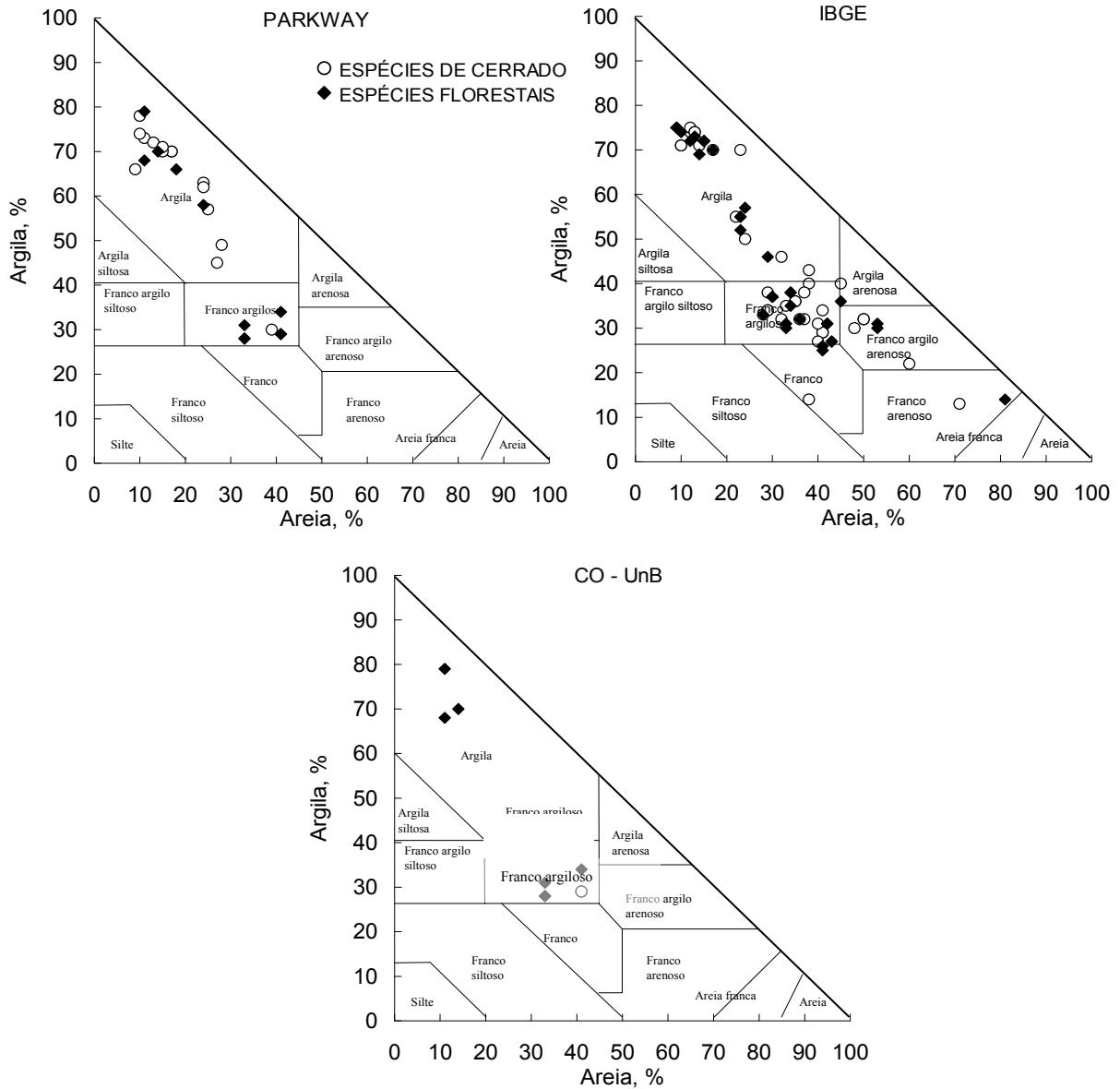


Figura 2.4 – Diagrama de classificação textural dos solos dos três locais de estudo, sob espécies de cerrado e florestais, com base nos percentuais de argila e areia, de acordo com EMBRAPA (1999).

3.2 – ESTADO NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS FOLIARES

Foram verificadas diferenças significativas na área foliar específica (AFE) entre espécies de cerrado e de origem florestal (Tabela 2.2), característica que não apresentou diferenças significativas entre gêneros (Tabela 2.3). A concentração dos nutrientes N, P, K, Ca, Cu, B e S também foi diferenciada entre plantas de origem florestal e de cerrado (Tabela 2.2). Com exceção do teor de Ca, que foi maior nas folhas de espécies de cerrado, todos os nutrientes que apresentaram diferença significativa foram mais elevados nas folhas de espécies florestais. O

Ca foi o único dentre os nutrientes que mostrou diferenças apenas quanto à origem das espécies, enquanto os demais nutrientes (N, P, K, Mg, Cu, Zn, B e S) apresentaram diferenças também entre os gêneros (Tabela 2.3).

Tabela 2.2 – Parâmetros foliares avaliados em 18 pares congenéricos de espécies características do cerrado e de ambientes florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Parâmetro	Pares Congenéricos		
	Cerrado	floresta	p
AFE*, cm ² .g ⁻¹	54,64 ± 12,41	69,48 ± 11,61	0,001
δ ¹³ C, ‰	-28,40 ± 0,80	-28,58 ± 0,84	0,785
N, g kg ⁻¹	11,7 ± 4,4	14,5 ± 5,0	< 0,001
P, g kg ⁻¹	0,7 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,014
K, g.kg ⁻¹	4,6 ± 2,3	6,8 ± 4,1	<< 0,001
Ca, g.kg ⁻¹	7,5 ± 2,8	6,1 ± 1,9	0,05
Mg, g.kg ⁻¹	1,8 ± 0,9	1,9 ± 0,9	0,367
Cu, g.kg ⁻¹	0,78 ± 0,85	1,07 ± 1,27	0,01
Fe, g.kg ⁻¹	18,54 ± 9,94	16,69 ± 7,88	0,398
Zn, g.kg ⁻¹	1,43 ± 0,94	1,18 ± 0,53	0,414
Mn, g.kg ⁻¹	12,11 ± 10,81	16,03 ± 13,61	0,533
B, g.kg ⁻¹	3,24 ± 2,32	4,56 ± 1,79	0,001
S, g.kg ⁻¹	0,8 ± 0,3	1,1 ± 0,6	0,003

* Área foliar específica.

A relação vista entre os valores de área foliar específica da comunidade de plantas florestais e de cerrado, traduz a relação da maior parte dos gêneros quando avaliados separadamente (Figura 2.5). Do total de dezoito gêneros, doze tiveram AFE significativamente mais elevada nas espécies florestais, quatro não apresentaram diferenças significativas e em apenas dois, *Tabebuia* e *Terminalia*, foram verificados valores mais altos de AFE nas espécies de cerrado.

Os teores dos macronutrientes N, P, K e Ca, que apresentaram diferenças entre espécies florestais e de cerrado, foram relacionados com os valores de AFE (Figura 2.6). Onde somente foram verificadas correlações nas folhas das espécies de cerrado, sendo os melhores ajustes verificados entre AFE, N e P, com $r^2= 0,33$ e $0,36$, respectivamente. A correlação entre os teores de Ca com os valores de AFE foi mais fraca ($r^2=0,15$), enquanto os teores de K não apresentaram qualquer correlação com os valores de área foliar específica, seja em espécies florestais ou de cerrado.

Tabela 2.3 – Área foliar específica, $\delta^{13}\text{C}$ e teor de nutrientes foliares dos gêneros amostrados em áreas de vegetação aberta, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Gêneros	AFE* $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	Concentração, foliar, g kg^{-1}											
			N			P		K		Ca		Mg		
Aegiphila	70,70	± 13,24	-28,19	± 0,85	19,43	± 5,13	1,44	± 0,43	9,79	± 3,95	8,62	± 3,34	2,58	± 0,94
Alibertia	68,85	± 9,47	-29,11	± 0,78	11,35	± 3,17	0,63	± 0,19	4,11	± 1,19	8,59	± 3,15	2,90	± 0,95
Byrsinima	57,16	± 12,67	-28,83	± 0,72	9,79	± 3,23	0,55	± 0,26	4,38	± 2,24	11,42	± 5,19	1,39	± 0,32
Erythroxylum	57,25	± 9,01	-28,47	± 0,93	11,00	± 1,55	0,75	± 0,20	3,43	± 1,65	5,65	± 1,02	1,26	± 0,40
Guapira	66,88	± 5,78	-27,13	± 0,82	27,74	± 4,32	1,29	± 0,43	14,71	± 5,55	5,59	± 1,71	4,08	± 1,53
Hymenaea	66,41	± 17,16	-28,99	± 1,25	12,19	± 2,44	0,81	± 0,08	3,44	± 1,03	6,77	± 4,97	0,88	± 0,33
Machaerium	71,29	± 14,85	-28,44	± 0,70	18,53	± 4,11	0,75	± 0,09	3,10	± 1,25	5,04	± 3,60	1,31	± 0,34
Miconia	69,47	± 25,40	-29,43	± 0,84	9,65	± 1,76	0,45	± 0,08	3,17	± 0,64	5,31	± 2,35	1,02	± 0,31
Myrsine	66,92	± 23,23	-29,15	± 1,10	13,10	± 2,89	0,96	± 0,35	10,13	± 3,81	6,12	± 1,92	1,22	± 0,30
Ouratea	64,23	± 6,06	-27,85	± 0,92	11,88	± 1,69	0,83	± 0,20	5,42	± 1,35	8,84	± 2,20	1,82	± 0,47
Piptocarpha	63,74	± 8,13	-28,90	± 0,61	12,57	± 3,06	0,79	± 0,18	7,39	± 3,28	4,63	± 1,11	2,14	± 0,49
Pouteria	59,81	± 12,25	-28,82	± 1,19	11,04	± 2,05	0,82	± 0,25	4,54	± 1,62	4,27	± 2,75	1,12	± 0,26
Scheflera	39,35	± 13,09	-27,55	± 0,59	10,61	± 3,71	0,56	± 0,19	7,48	± 2,92	4,80	± 2,26	1,48	± 0,44
Styrax	57,54	± 12,71	-28,94	± 0,62	10,32	± 0,82	0,60	± 0,04	3,95	± 1,17	6,42	± 2,45	1,26	± 0,17
Symplocus	61,75	± 12,10	-29,07	± 0,69	11,61	± 1,89	0,58	± 0,07	3,36	± 0,82	5,73	± 0,82	2,62	± 1,12
Tabebuia	47,78	± 3,75	-28,08	± 0,62	11,19	± 1,13	0,77	± 0,11	4,80	± 1,21	9,31	± 5,49	1,99	± 0,87
Terminalia	72,11	± 9,19	-27,94	± 0,95	11,76	± 0,66	0,76	± 0,03	4,79	± 1,53	8,61	± 3,13	1,36	± 0,50
Vochysia	55,83	± 23,02	-28,05	± 0,23	11,51	± 3,89	0,57	± 0,19	4,37	± 0,83	5,84	± 1,90	2,33	± 0,66
p	0,22		0,24		<0,01		0,02		<<0,01		0,08		<0,01	

AFE*-área foliar específica

..Continuação

Tabela 2.3 – Continuação

Gêneros	Concentração, foliar, g kg ⁻¹																	
	S	Cu		Fe		Zn		Mn		B								
Aegiphila	1,85	±	0,61	44,86	±	22,81	466,82	±	192,87	16,12	±	7,55	42,17	±	14,86	48,55	±	22,08
Alibertia	0,89	±	0,33	5,46	±	1,76	208,53	±	113,60	5,48	±	1,61	20,54	±	8,87	15,03	±	3,53
Byrsonima	0,61	±	0,24	3,01	±	1,90	126,87	±	28,42	6,21	±	2,03	47,40	±	30,25	46,50	±	27,84
Erythroxylum	1,07	±	0,48	9,04	±	1,81	94,29	±	23,97	10,46	±	2,50	21,51	±	6,21	23,13	±	13,29
Guapira	1,47	±	0,23	16,70	±	7,03	209,65	±	50,20	28,20	±	12,98	181,78	±	62,66	57,19	±	27,23
Hymenaea	0,84	±	0,15	9,49	±	5,46	165,32	±	54,86	19,59	±	4,75	139,73	±	44,33	16,37	±	10,01
Machaerium	0,75	±	0,13	8,48	±	2,33	180,67	±	80,44	11,21	±	6,34	263,38	±	214,48	35,81	±	32,42
Miconia	0,69	±	0,11	3,89	±	0,83	154,88	±	103,78	24,08	±	19,29	91,50	±	68,23	54,58	±	17,54
Myrsine	0,90	±	0,24	3,89	±	2,31	160,51	±	70,36	10,27	±	3,46	39,29	±	8,41	29,98	±	12,51
Ouratea	1,37	±	0,65	5,40	±	1,16	110,77	±	28,64	15,39	±	7,84	245,40	±	193,64	30,77	±	21,83
Piptocarpha	0,76	±	0,15	22,35	±	16,19	206,63	±	50,91	12,46	±	3,68	218,22	±	147,31	47,60	±	12,68
Pouteria	1,86	±	1,50	4,39	±	2,72	163,53	±	26,17	6,72	±	3,47	109,65	±	62,87	24,11	±	6,58
Scheflera	0,68	±	0,12	4,19	±	1,28	128,46	±	30,21	19,78	±	3,49	282,50	±	122,31	43,03	±	34,37
Styrax	0,73	±	0,08	4,03	±	0,24	183,53	±	81,11	6,21	±	0,95	134,51	±	55,08	22,67	±	12,58
Symplocus	0,79	±	0,12	3,45	±	2,09	150,12	±	25,00	8,71	±	3,40	184,11	±	188,22	32,58	±	7,47
Tabebuia	0,89	±	0,27	5,54	±	1,47	174,78	±	83,23	15,62	±	4,01	164,71	±	121,96	61,09	±	35,24
Terminalia	0,68	±	0,04	5,41	±	1,66	160,57	±	44,11	12,25	±	4,72	190,89	±	174,10	82,49	±	10,58
Vochysia	0,69	±	0,15	7,43	±	1,80	116,32	±	18,29	5,76	±	2,55	153,13	±	145,20	31,02	±	17,34
P	0,01			<<0,01			0,08			<0,01			0,21			0,01		

AFE*-área foliar específica

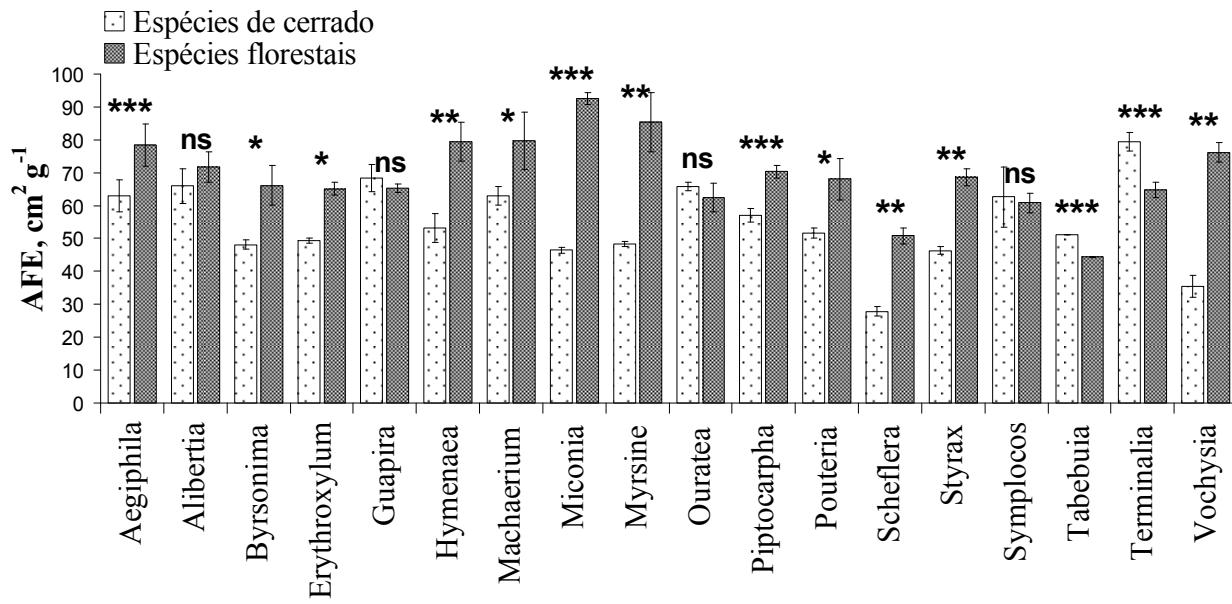


Figura 2.5 – Área foliar específica (AFE) de espécies congêneres características de cerrado e de formações florestais, estabelecidas em áreas de vegetação aberta. Níveis de significância referem-se ao teste t de student, * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$) e ns (diferença não significativa). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

Os macronutrientes N, P, K e Ca tiveram um comportamento bastante variado quando considerados seus teores por gênero (Figura 2.7). As concentrações de N, em 9 dos 18 gêneros estudados, apresentaram diferenças significativas, onde espécies florestais apresentaram sempre folhas mais ricas. Os teores foliares de P foram também superiores em plantas de origem florestal, sendo a diferença entre 12 gêneros significativa nesse sentido. Apenas um gênero (*Guapira*) teve concentração de P superior na espécie característica de cerrado, sendo os demais 5 gêneros estatisticamente semelhantes. Quando houve diferenças significativas nos teores de K (5 gêneros) os valores encontrados foram sempre mais elevados nas espécies de origem florestal. Contudo, mesmo nos 13 gêneros que não apresentaram diferenças significativas, observou-se tendência geral de maiores teores de K nas espécies florestais. Já as concentrações de Ca apresentaram tendência de valores mais altos nas folhas de espécies do cerrado, tendo sido verificada essa diferença em 7 dos gêneros estudados. Apenas os gêneros *Styrax* e *Symplocos*, apresentaram valores significativamente mais altos nas espécies florestais.

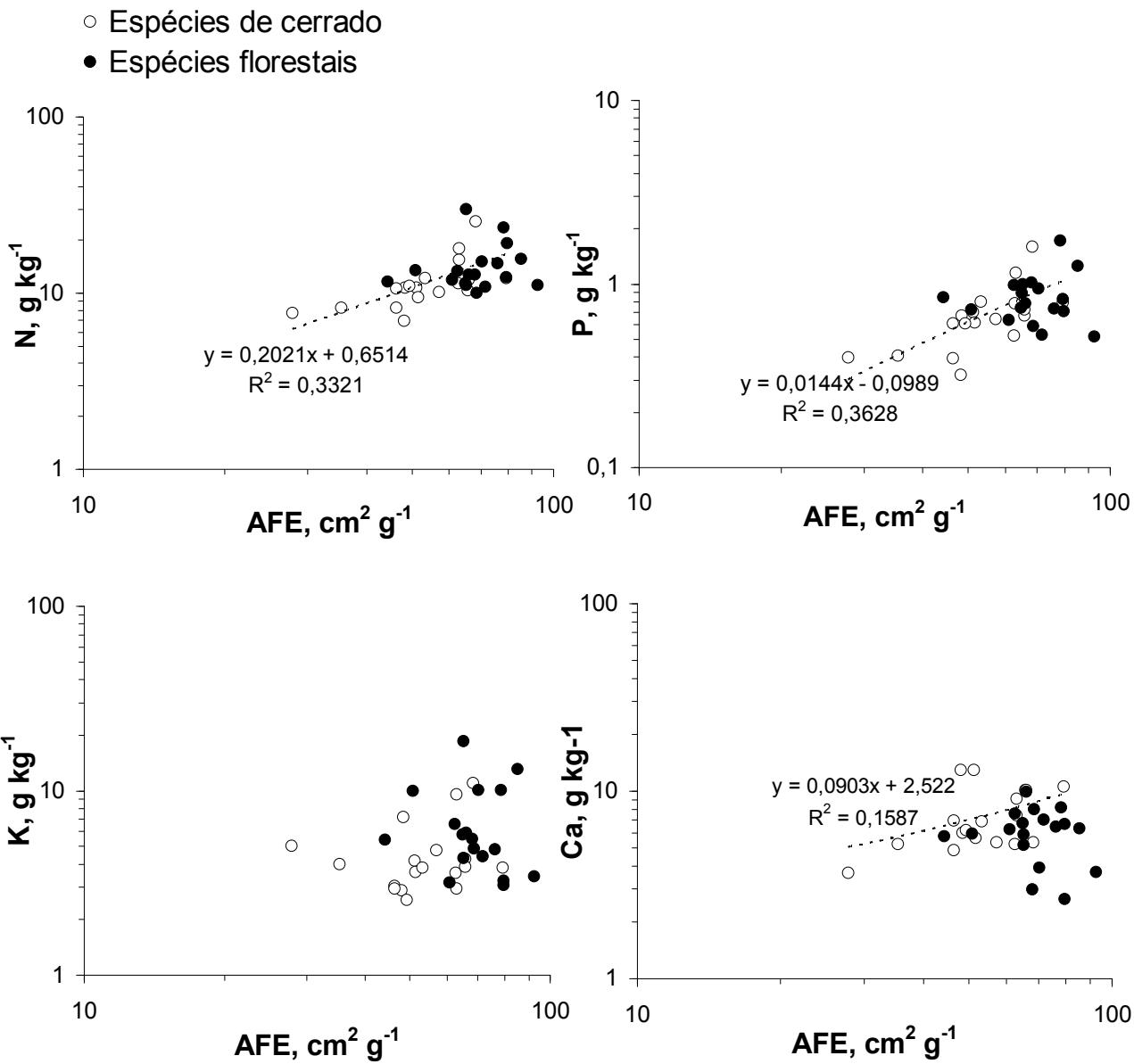


Figura 2.6 – Relação entre área foliar específica (AFE) e nutrientes foliares de espécies congenericas florestais e de cerrado, estabelecidas em áreas de cerrado sentido restrito. Linhas de regressão pontilhadas representam a correlação para espécies de cerrado.

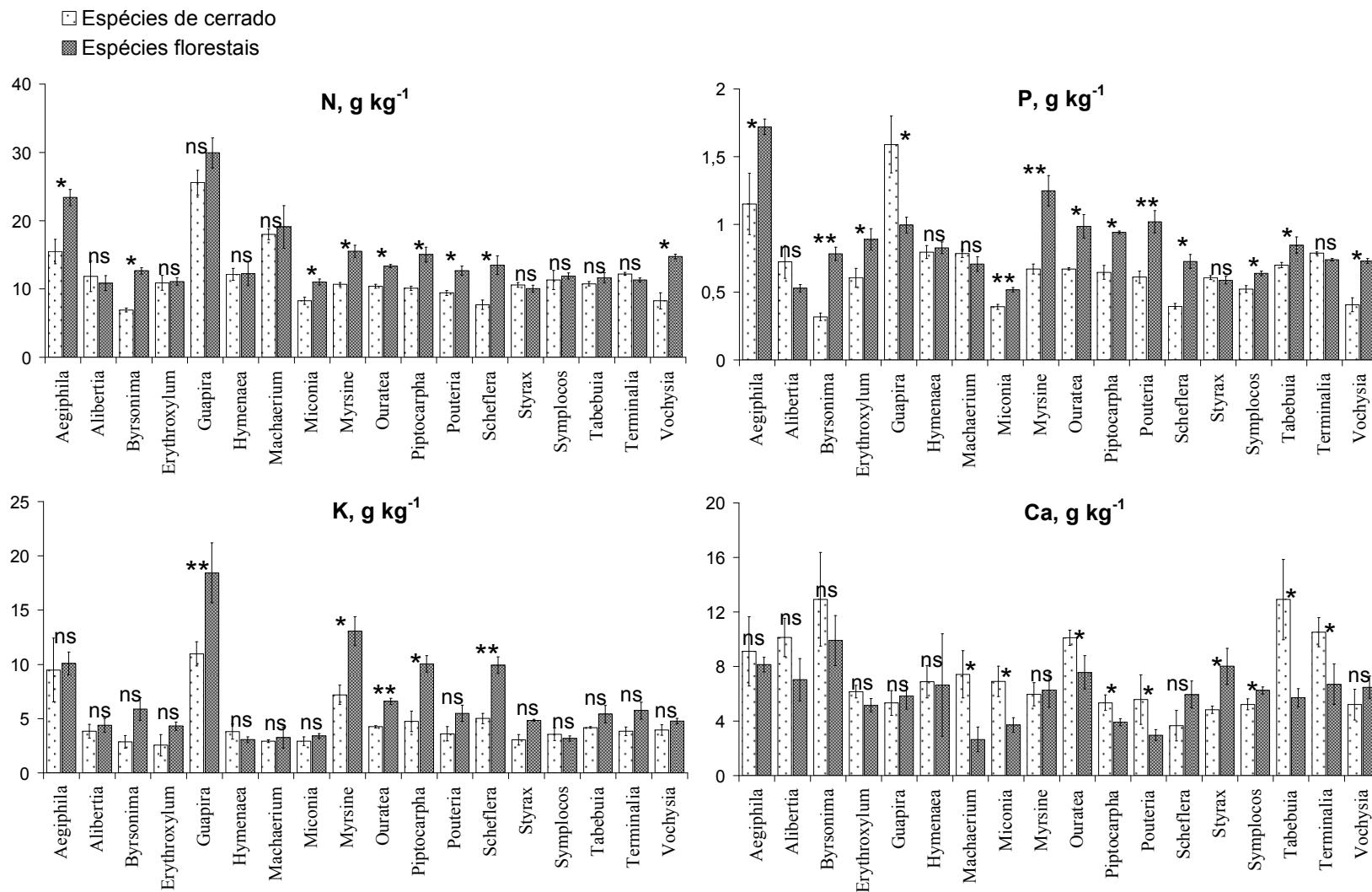


Figura 2.7 – Teor de nutrientes foliares de espécies congêneres características de cerrado e de ambientes florestais, em áreas de cerrado sentido restrito. Níveis de significância referem-se ao teste t de student, * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$) e ns (não significativa). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$, não diferiram entre as comunidades de espécies florestais e de cerrado quando considerados todos os gêneros (Tabela 2.2), mas foram significativamente diferentes entre 8 dos gêneros estudados (Figura 2.8). Em cinco destes gêneros (*Guapira*, *Hymenaea*, *Myrsine*, *Ouratea* e *Styrax*) foram verificados valores mais baixos de $\delta^{13}\text{C}$, que refletem uma menor eficiência no uso de água, nas espécies florestais. Contudo, os gêneros *Miconia*, *Tabebuia* e *Terminalia*, apresentaram nas espécies de cerrado, os mais baixos valores de $\delta^{13}\text{C}$. As diferenças não foram significativas em 10 dos 18 gêneros estudados.

Considerando-se todos os gêneros, os valores da composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, das folhas nas espécies de cerrado não apresentaram correlação com a área foliar específica (AFE). Entretanto, nas espécies florestais foi verificada uma fraca correlação ($r^2 = 0,23$) entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e os valores de área foliar específica, onde o aumento dos valores de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) proporcionou uma diminuição nos valores de $\delta^{13}\text{C}$, ou uma menor eficiência no uso de água (Figura 2.9).

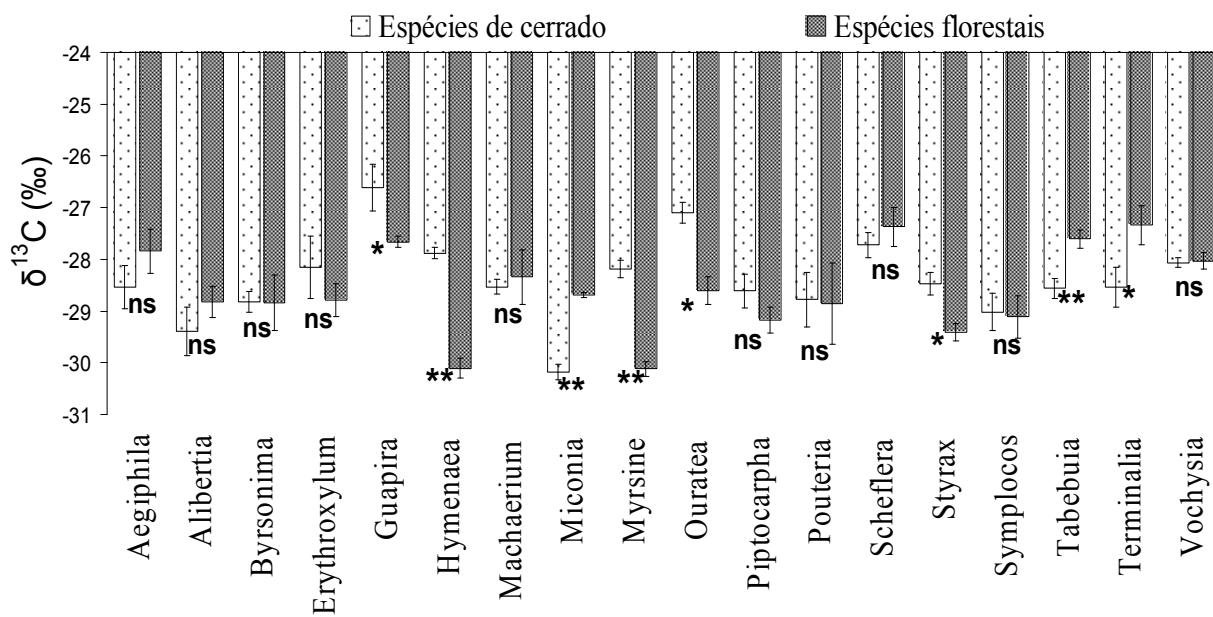


Figura 2.8 – Composição isotópica do carbono foliar de espécies congenéricas características de cerrado e de formações florestais, estabelecidas em áreas de cerrado sentido restrito. Níveis de significância referem-se ao teste t de student, * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$) e ns (diferença não significativa). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

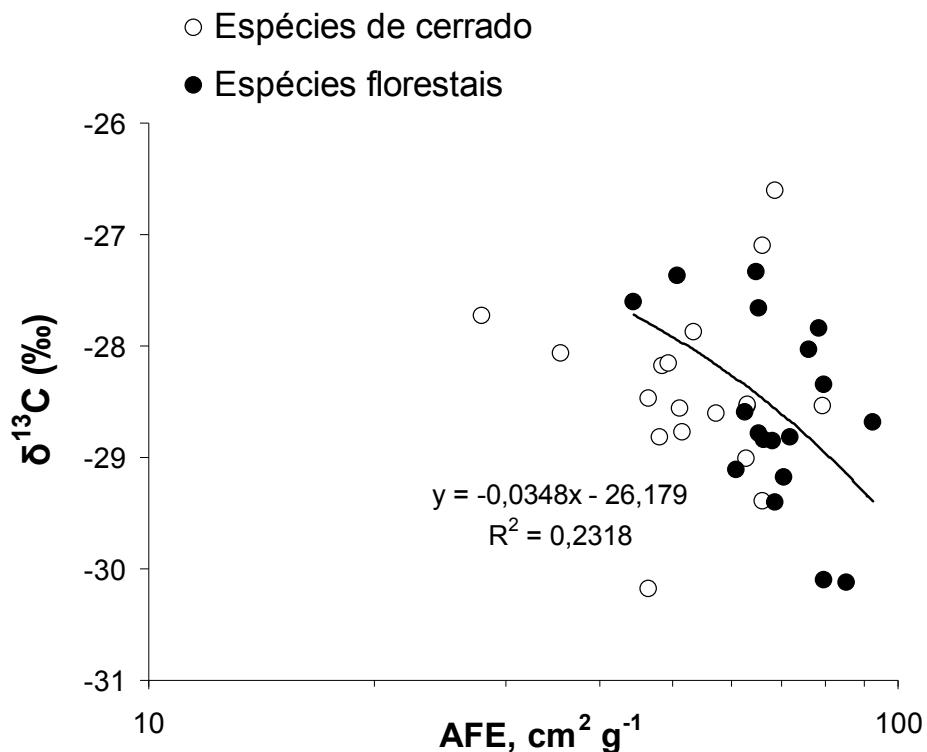


Figura 2.9 – Correlação entre área foliar específica (AFE) e $\delta^{13}\text{C}$ foliar de espécies congenericas características de cerrado e de ambientes florestais, estabelecidos em áreas de cerrado sentido restrito. A linha de regressão refere-se às espécies florestais.

3.3 – ESTADO NUTRICIONAL E CARACTERÍSTICAS DO TRONCO

Diferentemente dos resultados de nutrientes foliares a análise dos troncos mostrou diferença significativa entre espécies de origem florestal e de cerrado em apenas um dos parâmetros avaliados, o teor de N (Tabela 2.4). Esse nutriente foi medido em maiores concentrações no tronco das espécies cerrado, $3,7 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto espécies florestais apresentaram concentração média de $2,9 \text{ g kg}^{-1}$. Os teores de N também apresentaram diferenças significativas entre gêneros (Tabela 2.5), assim como a maior parte dos atributos avaliados. Somente a concentração de Ca e a composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, não foram significativamente diferentes entre os gêneros estudados.

A variação nos teores nutricionais do tronco foi relacionada às variações observadas nos teores de nutrientes foliares (Figura 2.10). Foram verificadas correlações significativas tanto nas

espécies florestais, quanto nas espécies de cerrado para os teores de N, P e K, onde a relação entre folhas e troncos de ambos os grupos de espécies foi bastante similar. Entretanto, troncos e folhas não apresentaram qualquer correlação quando avaliados os teores de Ca, tanto em espécies de origem florestal como também nas características de cerrado.

Houve também, forte correlação ($r^2=0,76$) entre os valores da composição de isótopos, $\delta^{13}\text{C}$, de troncos e folhas das comunidades de espécies, florestais e de cerrado, não tendo sido verificada, na relação entre essas variáveis, diferenças entre os dois grupos de espécies (Figura 2.10). A curva de regressão com o coeficiente $a = 0,77$ representa uma relação próxima de 1:1 entre a composição de isótopos de carbono nos troncos e folhas. Entretanto, enquanto os valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos troncos variaram entre -28 e -25 ‰, os valores das folhas mantiveram-se entre -30 e -26 ‰.

Foram também relacionados os teores de N, P, K e Ca, nas plantas (troncos e folhas), com a concentração destes nutrientes nos solos (Figura 2.11). No entanto, não se pôde observar qualquer correlação entre os teores nutricionais dos tecidos vegetais com os nutrientes do solo, tanto para espécies florestais quanto para espécies de cerrado.

Tabela 2.4. Parâmetros do tronco avaliados em 18 pares congenéricos de espécies características do cerrado e de ambientes florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Parâmetro	Pares Congenéricos		P
	cerrado	floresta	
Densidade Verde, g.cm ⁻³	1,25 ± 0,10	1,24 ± 0,09	0,526
Densidade Seca, g cm ⁻³	0,73 ± 0,15	0,75 ± 0,15	0,341
$\delta^{13}\text{C}$, ‰	-26,43 ± 0,72	-26,65 ± 0,94	0,337
N, g kg ⁻¹	3,7 ± 1,4	2,9 ± 1,4	0,002
P, g kg ⁻¹	0,6 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,453
K, g kg ⁻¹	1,8 ± 1,2	1,7 ± 0,9	0,771
Ca, g kg ⁻¹	6,3 ± 3,5	5,6 ± 2,8	0,901
Mg, g kg ⁻¹	0,6 ± 0,4	0,6 ± 0,5	0,871
Cu, g kg ⁻¹	1,65 ± 3,74	0,95 ± 2,09	0,712
Fe, g kg ⁻¹	12,22 ± 13,11	11,31 ± 13,20	0,289
Zn, g kg ⁻¹	0,63 ± 0,40	1,06 ± 1,44	0,989
Mn, g kg ⁻¹	12,52 ± 40,78	10,57 ± 31,58	0,767
B, g kg ⁻¹	12,13 ± 2,00	12,55 ± 1,88	0,336
S, g.kg ⁻¹	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,342

Tabela 2.5 – Densidade da madeira, $\delta^{13}\text{C}$ e teor de nutrientes no tronco dos gêneros amostrados em áreas de vegetação aberta, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Gêneros	Concentração no tronco, g kg ⁻¹																			
	Dv*, g.cm ⁻³	Ds**, g cm ⁻³	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	N				P				K				Ca				Mg
Aegiphila	1,20	± 0,06	0,51	± 0,04	-26,00	± 0,60	3,17	± 0,28	0,72	± 0,11	2,10	± 0,66	5,66	± 3,27	0,58	± 0,29				
Alibertia	1,25	± 0,18	0,92	± 0,11	-27,11	± 0,63	2,22	± 0,58	0,21	± 0,16	1,74	± 0,52	6,48	± 2,71	0,59	± 0,28				
Byrsinima	1,27	± 0,03	0,64	± 0,06	-27,36	± 1,07	3,38	± 0,74	0,55	± 0,15	2,26	± 1,25	2,46	± 1,94	1,72	± 0,43				
Erythroxylum	1,12	± 0,11	0,74	± 0,07	-26,65	± 0,96	3,97	± 1,87	0,58	± 0,08	1,20	± 0,44	9,40	± 3,73	0,45	± 0,19				
Guapira	1,07	± 0,06	0,66	± 0,08	-25,04	± 0,39	7,06	± 1,56	1,07	± 0,79	3,86	± 0,78	9,89	± 4,80	0,59	± 0,30				
Hymenaea	1,26	± 0,06	0,92	± 0,06	-26,84	± 0,78	3,13	± 1,01	0,57	± 0,06	1,15	± 0,91	5,93	± 5,64	0,22	± 0,06				
Machaerium	1,25	± 0,03	0,91	± 0,06	-26,28	± 0,43	4,55	± 0,50	0,49	± 0,07	0,74	± 0,14	5,20	± 4,71	0,13	± 0,03				
Miconia	1,35	± 0,06	0,92	± 0,06	-27,30	± 0,65	1,90	± 0,19	0,40	± 0,05	0,47	± 0,49	2,92	± 1,59	0,17	± 0,13				
Myrsine	1,27	± 0,07	0,69	± 0,04	-26,87	± 1,14	2,27	± 0,39	0,44	± 0,16	2,07	± 0,35	3,64	± 3,40	0,25	± 0,11				
Ouratea	1,26	± 0,08	0,72	± 0,05	-26,51	± 1,04	4,03	± 1,22	0,64	± 0,16	1,35	± 0,34	8,94	± 9,23	0,92	± 0,57				
Piptocarpha	1,23	± 0,08	0,69	± 0,10	-26,83	± 0,54	2,89	± 1,14	0,59	± 0,13	2,82	± 1,19	6,38	± 2,39	0,53	± 0,21				
Pouteria	1,31	± 0,03	0,82	± 0,05	-26,81	± 1,26	4,34	± 0,89	0,67	± 0,28	1,82	± 0,69	7,47	± 4,36	0,44	± 0,18				
Scheflera	1,16	± 0,16	0,75	± 0,17	-26,09	± 0,54	1,89	± 0,11	0,49	± 0,04	1,81	± 0,77	8,85	± 3,02	0,40	± 0,20				
Styrax	1,20	± 0,05	0,66	± 0,05	-27,48	± 0,64	2,43	± 0,69	0,52	± 0,02	2,04	± 0,75	4,48	± 3,73	0,97	± 0,61				
Symplocus	1,22	± 0,04	0,53	± 0,08	-27,11	± 0,67	2,82	± 1,20	0,44	± 0,15	2,93	± 1,79	6,26	± 3,75	0,45	± 0,12				
Tabebuia	1,22	± 0,24	0,86	± 0,14	-26,23	± 1,29	3,35	± 1,14	0,54	± 0,11	1,93	± 1,13	4,42	± 3,59	0,43	± 0,27				
Terminalia	1,26	± 0,05	0,92	± 0,05	-26,25	± 0,89	2,78	± 0,53	0,51	± 0,07	0,99	± 0,12	5,63	± 4,61	0,27	± 0,15				
Vochysia	1,35	± 0,06	0,64	± 0,04	-25,54	± 0,41	1,68	± 0,28	0,42	± 0,04	0,55	± 0,35	3,88	± 2,34	1,14	± 0,81				
p	0,01		<0,01		0,16		<0,01		<0,01		0,02		0,24		0,02					

Dv*-densidade da madeira verde, Ds**-densidade da madeira seca

..Continuação

Tabela 2.5 - Continuação

Gêneros	Concentração no tronco, g kg ⁻¹																	
	S		Cu		Fe		Zn		Mn		B							
Aegiphila	0,24	±	0,04	57,79	±	46,74	536,90	±	148,62	10,92	±	11,26	11,84	±	3,67	116,61	±	6,45
Alibertia	0,13	±	0,06	2,07	±	0,60	158,47	±	216,60	0,00	±	0,00	4,70	±	2,77	24,08	±	56,52
Byrsinima	0,19	±	0,16	5,44	±	5,12	155,15	±	115,63	11,90	±	10,45	7,51	±	3,11	118,09	±	10,67
Erythroxylum	0,39	±	0,27	5,21	±	3,18	55,80	±	25,36	9,31	±	1,76	0,74	±	0,71	125,86	±	6,06
Guapira	0,47	±	0,19	5,18	±	2,63	111,00	±	50,19	15,66	±	4,40	29,28	±	18,59	145,33	±	14,17
Hymenaea	0,41	±	0,47	2,58	±	1,77	48,65	±	46,19	5,91	±	4,64	20,03	±	15,16	123,06	±	20,43
Machaerium	0,11	±	0,03	11,21	±	16,57	17,53	±	12,47	2,94	±	1,03	12,61	±	9,13	96,54	±	53,98
Miconia	0,20	±	0,10	2,85	±	2,02	37,81	±	13,00	7,75	±	11,90	67,48	±	83,55	121,12	±	6,31
Myrsine	0,18	±	0,08	0,92	±	1,76	43,74	±	24,11	2,65	±	2,22	10,49	±	11,90	113,75	±	55,04
Ouratea	0,66	±	0,22	3,76	±	1,37	132,84	±	84,91	33,96	±	66,80	134,87	±	43,32	142,19	±	41,99
Piptocarpha	0,22	±	0,07	2,01	±	2,20	104,78	±	34,27	4,30	±	1,30	31,84	±	22,29	141,39	±	5,52
Pouteria	0,43	±	0,23	2,33	±	2,45	84,22	±	64,85	6,53	±	4,19	11,09	±	5,20	111,42	±	17,36
Scheflera	0,08	±	0,03	1,67	±	1,32	53,44	±	14,52	4,57	±	3,43	30,12	±	12,11	136,30	±	8,74
Styrax	0,20	±	0,06	10,96	±	8,71	114,99	±	52,19	5,25	±	2,07	22,29	±	5,60	124,01	±	7,00
Symplocus	0,39	±	0,20	80,62	±	184,59	141,40	±	171,51	10,22	±	12,85	1512,86	±	941,83	137,15	±	7,49
Tabebuia	0,47	±	0,19	8,00	±	9,76	37,87	±	31,26	5,37	±	6,64	11,75	±	7,11	97,65	±	21,64
Terminalia	0,14	±	0,02	2,55	±	2,90	35,18	±	22,48	5,06	±	6,43	21,00	±	15,22	129,92	±	11,03
Vochysia	0,09	±	0,08	14,14	±	16,12	283,89	±	210,32	2,29	±	2,93	28,38	±	10,53	115,91	±	10,33
p	0,01		<0,01		0,02		<0,01		<<0,01		<0,01							

Dv*-densidade da madeira verde, Dv**-densidade da madeira seca

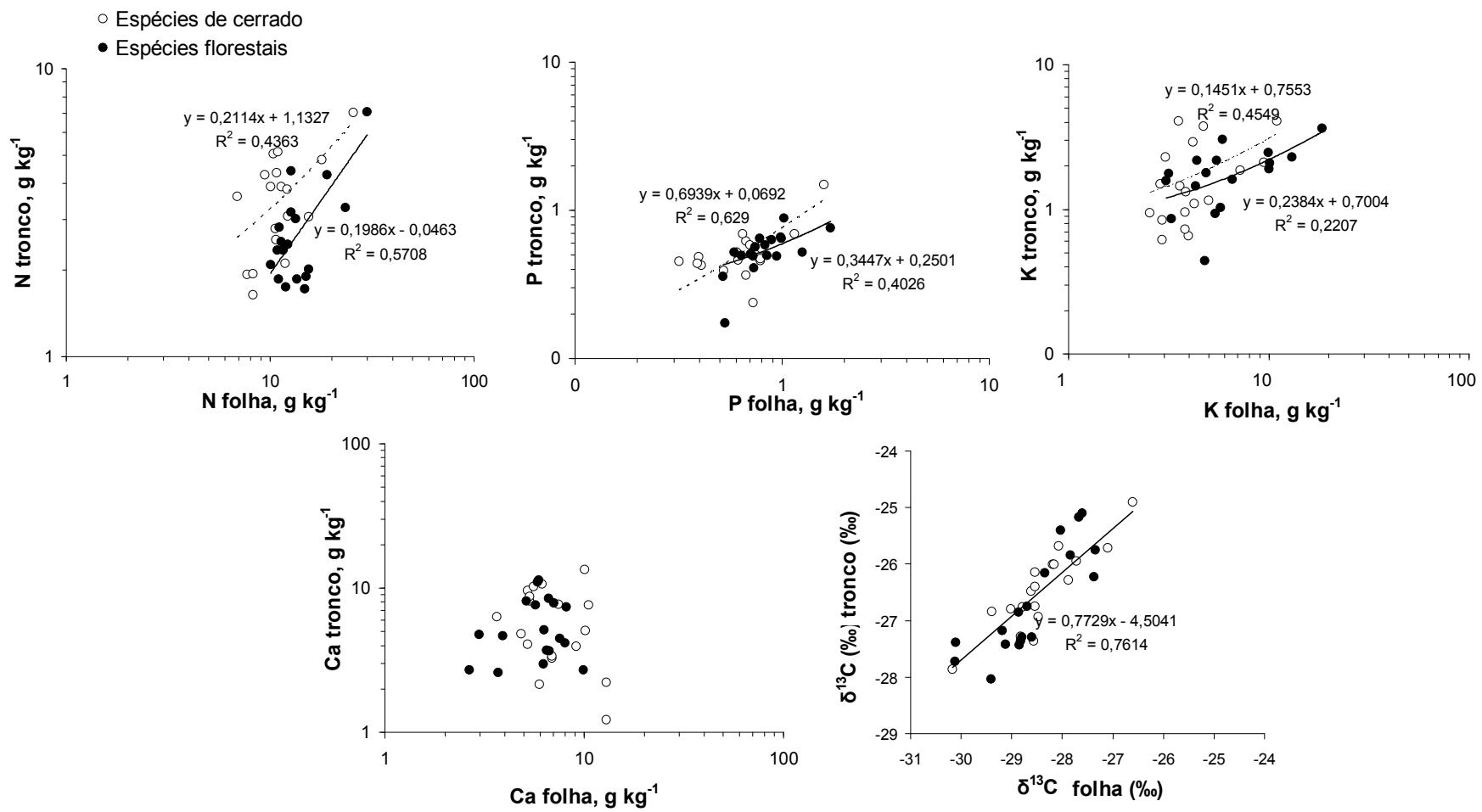


Figura 2.10 – Relação entre nutrientes nas folhas e no tronco de espécies congenéricas características de cerrado e de ambientes florestais, estabelecidas em áreas de vegetação aberta. Linhas de regressão contínuas, correspondem às espécies florestais e pontilhadas às espécies de cerrado.

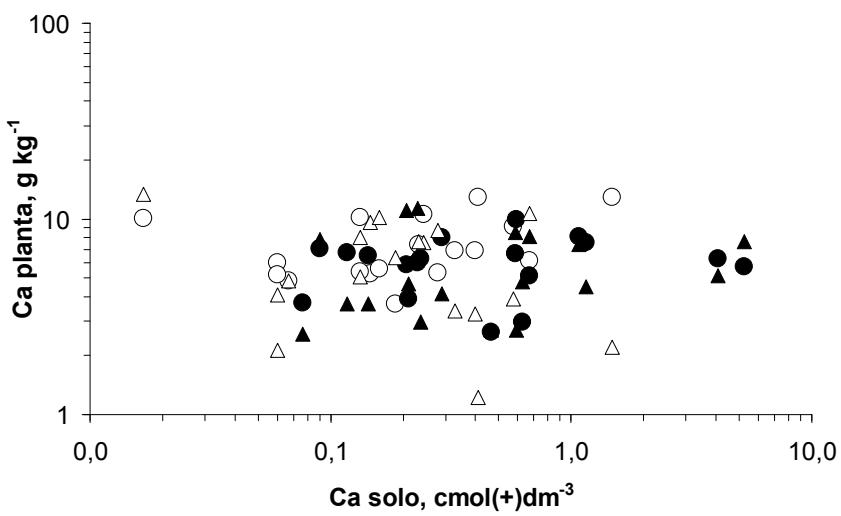
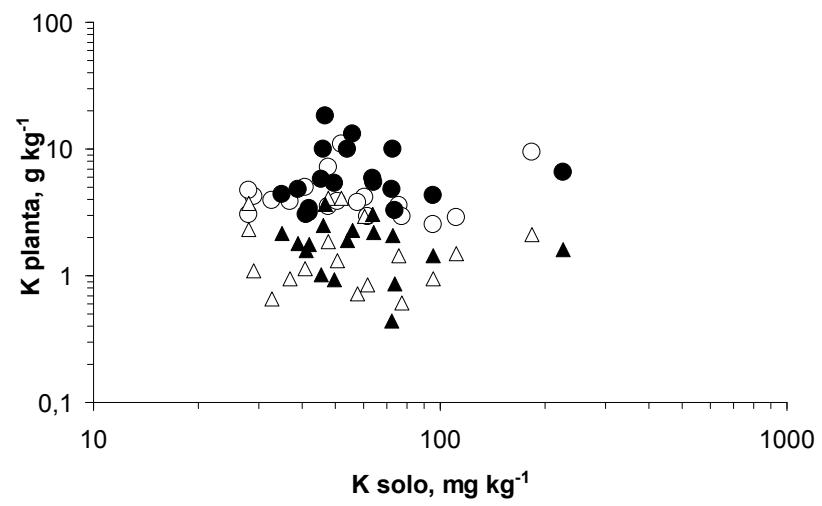
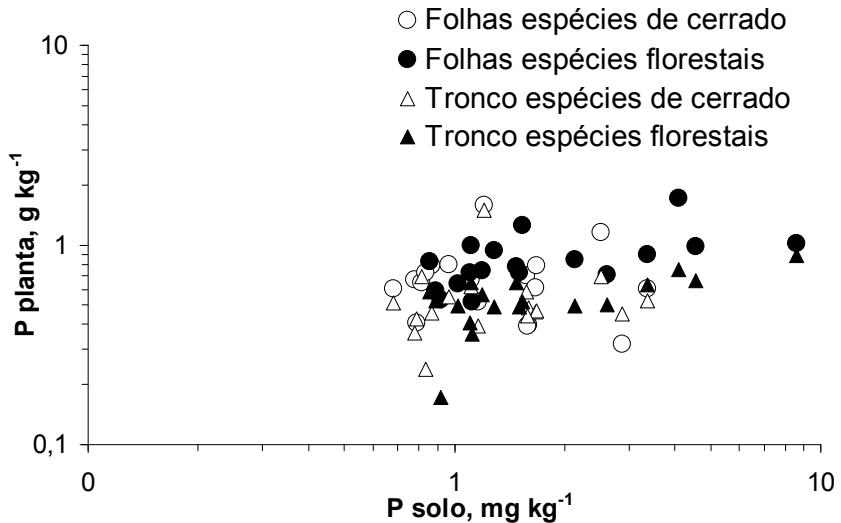
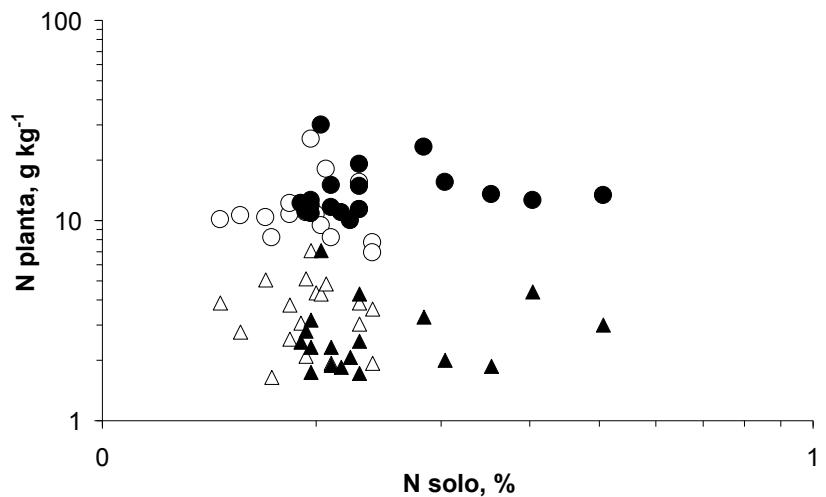


Figura 2.11 – Relação entre nutrientes no solo e nos tecidos vegetais, tronco e folhas, de espécies congenéricas características de cerrado e de ambientes florestais, estabelecidas em áreas de vegetação aberta.

4 – DISCUSSÃO

Na ocasião de escolha dos diferentes locais de amostragem deste estudo, foram assumidas como homogêneas as condições edáficas, uma vez que todos os três locais escolhidos são de formações naturais de vegetação aberta de cerrado, onde, se houvesse variações edáficas significativas, estas seriam provavelmente acompanhadas de mudanças na fitofisionomia (Eiten 1984; Furley 1992). Os resultados aqui apresentados confirmam esse pressuposto, pois apesar de terem sido verificadas diferenças entre alguns teores nutricionais, os solos das áreas de estudo apresentaram fertilidade e pH (Figura 2.2), característicos dos solos de cerrado (Haridasan 1992).

Os atributos físicos dos solos, como a textura, compõem uma variável importante na distribuição de plantas no Cerrado (Ruggiero *et al.* 2002). Nos resultados aqui apresentados a textura dos solos avaliados variou muito entre os locais de estudo, bem como dentro de cada local, não tendo sido verificado, entretanto, qualquer padrão quanto à distribuição de espécies florestais e de cerrado ligado à textura dos solos (Figura 2.4). Apesar disso, essa análise física desconsidera a presença de cascalho, que é comumente encontrado nas áreas de amostragem. A presença dessas concreções na superfície do solo é descrita como característica limitante ao adensamento de espécies lenhosas na região (Haridasan 2007) e pode, portanto, ser um fator, aqui não avaliado, que impõe restrições à presença de espécies florestais em áreas de cerrado sentido restrito.

Quando comparadas, a disponibilidade nutricional dos solos superficiais amostrados sob espécies de origem florestal, com a dos solos sob espécies características de cerrado, verificou-se que os solos sob espécies florestais apresentam maiores teores de C orgânico e valores significativamente mais elevados de N, P, Ca e Zn (Figura 2.3). Resultados semelhantes foram encontrados por Hoffmann *et al.* (2005) que verificaram maiores concentrações de P em solos analisados sob espécies florestais em diferentes áreas de vegetação de cerrado no Distrito Federal.

Esses resultados levantam duas possibilidades, a primeira de que as espécies florestais presentes nessas fisionomias abertas ocupem preferencialmente manchas de maior fertilidade, e a segunda, de que essas espécies seriam capazes de alterar as propriedades do solo superficial nos locais onde se estabelecem.

A possibilidade de modificação do ambiente edáfico, imediatamente abaixo das copas, das plantas de origem florestal é suportada pela forte relação de interdependência que existe entre vegetação e solo, onde as distinções na demanda nutricional das espécies, dentre outros fatores, podem influenciar o ecossistema em que se estabelecem (Chapin *et al.* 1997, Larcher 2000). A assimilação de nutrientes dos solos e sua redistribuição no perfil de modo a favorecer maiores concentrações nas camadas superficiais, é uma característica de espécies típicas de formações florestais, que se diferencia dos padrões encontrados em espécies arbóreas savânicas (Medina e Cuevas 1996, Jobbagy e Jackson 2004, McCulley *et al.* 2004, Haridasan 2005).

Maiores taxas de transpiração também funcionam como mecanismos de retenção de nutrientes nas camadas superficiais dos solos florestais, por minimizar sua percolação, o que não ocorre em vegetações savânicas, de modo que espécies adaptadas às condições florestais podem por meio de sua relação com a atmosfera modificar o padrão de distribuição de nutrientes nos solos (Miranda *et al.* 1996, Jipp *et al.* 1998).

Entretanto, de acordo com os resultados apresentados não houve diferenças na eficiência do uso de água, medida pela composição isotópica foliar e do tronco, $\delta^{13}\text{C}$ (Tabela 2.2 e 2.4), entre espécies florestais e de cerrado. A lógica que embasa, o uso de isótopos estáveis de carbono para determinar a eficiência do uso de água, está no fracionamento que ocorre entre o ^{12}C e o ^{13}C no momento da carboxilação. Ambos são isótopos presentes naturalmente na atmosfera, no entanto, um maior controle de perda de água, com contínuo fechamento estomático, aumenta a concentração de C^{13} na composição do carbono da biomassa. O fato de não ter havido diferenças no $\delta^{13}\text{C}$ entre plantas de cerrado e de origem florestal, sugere que não há diferenças quanto à condutância estomática o que acarretaria, se considerada uma

mesma taxa de assimilação de carbono, taxas de transpiração semelhantes (Farquar 1982, Farquhar e Richards 1984; Farquhar *et al.* 1988; Ehleringer *et al.* 1993).

Essa evidência também torna improvável a diferença edáfica como produto da redistribuição de nutrientes das camadas mais profundas para o solo superficial, via raízes superficiais. Uma vez que, se a condutância estomática não difere entre espécies florestais e de cerrado, é razoável supor que as raízes de ambos grupos de plantas estejam acessando a mesma fonte de água no solo. É possível, portanto, que essas espécies florestais em condições de cerrado, para superar as restrições da estação seca, invistam em raízes tão profundas quanto às das espécies típicas desse ambiente. O investimento em raízes profundas permite, nesse tipo de solo, a manutenção do acesso tanto aos nutrientes como à água durante a estação seca (McCulley *et al.* 2004, Haridasan 2005, Franco 2005) característica que é mais vantajosa em relação à produção de raízes finas e superficiais comuns nas formações florestais.

Adicionalmente, a estes argumentos, o maior teor nutricional do solo sob plantas de origem florestal não parece ser função da deposição de uma serrapilheira mais rica. Os teores de N, P e K nas folhas, bem como no solo das espécies florestais, foram mais elevados do que os verificados nas espécies de cerrado o que poderia suportar essa hipótese (Tabela 2.2, Figura 2.3). Entretanto, essa relação não foi mantida nas concentrações de Ca, que foram mais elevadas nas folhas de espécies do cerrado, enquanto nos solos sob essas espécies foram verificadas as menores concentrações. De modo que, supor maiores concentrações de nutrientes nos solos superficiais, como consequência da deposição de serrapilheira representaria uma incongruência no balanço nutricional.

Diante dessas evidências, parece mais provável que a presença de espécies florestais, seja consequência de manchas de solos mais férteis em sítios específicos, do que a causa dessa maior fertilidade. Como os teores de nutrientes, mesmo os mais elevados sob plantas florestais, são muito inferiores aos que se verificam nos solos das florestas da região (Haridasan 2005), essa maior concentração de nutrientes pode corresponder a um limite nutricional mínimo para o estabelecimento de espécies florestais nesse ambiente. Visto que,

nessas espécies, o requerimento nutricional para o estabelecimento de mudas é superior ao das espécies típicas de cerrado (Hoffmann e Franco 2003, Hoffmann *et al.* 2005).

Tanto a necessidade de solos mais férteis, quanto a maior concentração de nutrientes nos tecidos foliares, aqui verificada nas espécies florestais, indicam exigências adaptativas ligadas à evolução dessas plantas. Contudo, essas características variaram não somente quanto ao habitat de origem das espécies (florestas ou cerrado), mas também quanto aos gêneros estudado. Apenas 9 dos 18 gêneros avaliados apresentaram concentrações de N significativamente superiores nas folhas de espécies de origem florestal. Foram 12 os gêneros onde se verificou essa relação para o P e 5 no caso do K. Apenas quatro gêneros (*Myrsine*, *Ouratea*, *Piptocarpha* e *Schefflera*) apresentaram concentrações significativamente superiores destes três nutrientes, N, P e K, nas folhas das espécies florestais (Figura 2.7). O que demonstra que há, apesar da tendência geral de maiores teores de nutrientes nessas plantas, uma diversidade de relações ligadas a diferenças filogenéticas entre os gêneros estudados.

Entre os macronutrientes essenciais N, P e K, existe uma única exceção onde se observou maior teor foliar na espécie de cerrado, que foi referente à concentração de P no gênero *Guapira* (Figura 2.7). Esse gênero merece destaque ainda, pelo comportamento incomum, quanto à concentração de N para ambas espécies estudadas. Os valores observados excedem as concentrações vistas em todos os demais gêneros, incluindo os gêneros pertencentes às famílias de leguminosas, onde seriam esperadas as maiores concentrações (Figura 2.7). Outros trabalhos recentes observaram altos teores de N nas folhas de espécies de *Guapira* crescendo em áreas de cerrado no Distrito Federal (Araújo 2006, Peixoto 2007, Araújo e Haridasan 2007). O que torna esse gênero potencialmente interessante para futuros estudos que envolvam a assimilação de N nos solos do cerrado.

Os teores de Ca foram mais elevados nas folhas das espécies de cerrado, havendo apenas dois gêneros (*Styrax* e *Symplocos*) onde se observaram maiores teores nas folhas de espécies florestais (Figura 2.7). Este nutriente nos solos do bioma é escasso não somente em áreas savânicas como também na maioria das áreas florestais (RADAMBRASIL 1982, Haridasan 2000, 2005). De modo que as espécies florestais aqui estudadas não têm com o Ca a mesma

relação que têm com N, P e K, onde os teores foliares mais elevados refletem a adaptação aos solos de florestas, que em geral são mais abundantes nesses nutrientes e onde também se observam os maiores teores de matéria orgânica (Eiten 1990, Haridasan 1998, Furley 2000). Assim, como nenhum dos grupos de espécies está adaptado a ambientes ricos em Ca, os valores mais elevados nas folhas das espécies de cerrado podem representar sua maior eficiência no aproveitamento deste nutriente em solos pobres. Esse comportamento poderia ser diferente se as espécies florestais estudadas fossem típicas de florestas estacionais (mata decídua ou semidecídua) ambientes onde são encontrados, em função da origem dos solos, teores elevados de Ca.

Poder-se-ia supor também que as maiores concentrações de Ca nas folhas das espécies de cerrado estão relacionadas a uma maior longevidade destas. O cálcio ocorre na planta como Ca^{++} livre, como Ca^{++} adsorvido a íons indifusíveis e na forma de oxalato, carbonato e fosfato de cálcio. De modo que grandes quantidades desse nutriente associam-se às paredes celulares, tomando parte na composição estrutural das folhas e não apresentando mobilidade dentro das plantas como outros nutrientes (Garter Jn 1976, Raven *et al.* 1978, Mengel e Kirkby, 1987). Dessa forma, o teor de Ca incorporado ao tecido vegetal, está diretamente relacionado à idade deste.

A favor desta hipótese existe a relação entre área foliar específica e idade foliar, onde normalmente, folhas com menor tempo de vida apresentam maiores valores de área foliar específica (Reich *et al.* 1992, Reich 1993, Reich *et al.* 1997). Como 12 dos 18 pares congenéricos aqui estudados apresentaram valores significativamente maiores de AFE (Figura 2.5) nas espécies florestais, torna-se verossímil a idéia de que a longevidade seja o fator determinante dos maiores teores de Ca foliar em plantas do cerrado. O que somente poderia ser respondido, com certeza, com o devido estudo da duração foliar dessas espécies.

A área foliar específica é um parâmetro intrinsecamente relacionado à produção de biomassa em função da disponibilidade de luz (Reich *et al.* 1993, King 2003), que reduzida sob o dossel florestal, selecionou ao longo do tempo espécies aptas a um maior investimento em área por massa de folha. O fato de, mesmo sob condições de vegetação aberta, a área foliar específica

da comunidade de plantas florestais ser significativamente superior à de espécies de cerrado, enquanto não houve diferenças significativas entre gêneros, demonstra a forte influência do ambiente florestal na história evolutiva dessas espécies (Tabela 2.2).

Como a construção de tecidos depende da assimilação de nutrientes, que por sua vez (assim como a AFE) está relacionada às condições do habitat de origem, como luminosidade, por exemplo, (Merino *et al.* 1984, Poorter 1994, Franco *et al.* 2005) seria esperada a existência de uma correlação entre teor nutricional e AFE. Entretanto, nos casos em que se verificou alguma correlação, esta foi muito fraca (Figura 2.6).

Os teores N, P e Ca apresentaram correlação positiva com AFE nas folhas de espécies de cerrado. Contudo, não se observou qualquer relação entre teores nutricionais das folhas e AFE, nas espécies florestais. Provavelmente, as condições ambientais marcadamente diferenciadas entre os ambientes florestais e o cerrado sejam a principal causa disso. O que poderia traduzir uma condição de “desequilíbrio” entre as características foliares dessas plantas, por estarem estabelecidas fora do ambiente ao qual estão plenamente adaptadas.

De acordo com Wright *et al.* (2001) alterações no regime hídrico podem modificar a relação entre AFE e os teores nutricionais foliares, o que pode explicar a falta de correlação verificada nas espécies florestais, adaptadas à maior disponibilidade deste recurso. Essa possibilidade é reforçada pela verificação de uma correlação negativa, apenas nas folhas das espécies florestais, entre a AFE e a eficiência no uso de água, estimada pelo $\delta^{13}\text{C}$ foliar (Figura 2.9), onde com o aumento da área foliar dessas espécies, houve diminuição na eficiência do uso de água. Em contraste com essa característica das florestais, nas espécies de cerrado, a regulação das perdas de água para atmosfera em relação ao fluxo de assimilação de CO₂, parecem não depender, ou depender menos, da área foliar específica.

Apesar da correlação entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e AFE ter sido verificada apenas nas espécies florestais, não houve diferenciação significativa na eficiência do uso de água entre espécies de origem florestal e as características de cerrado (Tabela 2.2 e 2.4), o que diverge dos resultados encontrados por Hoffmannn *et al.* (2005). Se considerada a história evolutiva dessas plantas,

todas as espécies florestais aqui avaliadas ocorrem naturalmente, embora não exclusivamente, em florestas úmidas, como matas de galeria, que muito se distinguem do cerrado quanto ao regime hídrico (Eiten 1990, Haridasan 1998). Como uma menor eficiência no uso de água por parte de espécies florestais, somente foi verificada em 5 dos 18 gêneros avaliados (Figura 2.8), as demais podem ser consideradas plásticas quanto à variação na disponibilidade deste recurso. Dessa forma, percebe-se que quanto às características foliares, existem alguns atributos mais determinados pela filogenia das espécies, enquanto outros se mostram mais determinados pelas condições do ambiente externo.

Analizando-se as características do tronco, pôde-se verificar que estas, em certa medida, acompanharam as características foliares. Apenas os teores de Ca não apresentaram correlação quando avaliados troncos e folhas, já os teores de N, P e K, assim como os valores de $\delta^{13}\text{C}$ no tronco, foram correlacionados com os verificados nas folhas das espécies estudadas (Figura 2.10). Dentre esses parâmetros, N, P e K, apresentaram curvas de correlação independentes para espécies florestais e de cerrado, onde a inclinação das curvas foi semelhante, tendendo ao paralelismo. Assim, a separação das curvas entre esses dois grupos de espécies pode ser atribuída também às maiores concentrações destes nutrientes nos troncos das espécies de cerrado, que mesmo tendo apenas os teores de N significativamente mais elevados, apresentou em alguns casos maiores concentrações também de P e K (Figura 2.10).

Existe, portanto, a possibilidade de um padrão de armazenamento de nutrientes no tronco das espécies de cerrado, como característica adaptativa que as proporcionou vantagem competitiva nestes ambientes savânicos, onde o N, por exemplo, é fator limitante ao adensamento da cobertura arbórea (Medina 1993, Medina e Izaguirre 2004, Bustamante *et al.* 2006). Quanto às demais características dos troncos, diferentemente das folhas, estão aparentemente mais ligadas às diferenças filogenéticas entre gêneros do que entre espécies. Uma vez que com exceção do Ca e do $\delta^{13}\text{C}$, todos os atributos avaliados apresentaram variações significativas entre os gêneros e não entre espécies de origem florestal e de cerrado (Tabela 2.4 e 2.5).

Dentre as correlações verificadas entre troncos e folhas (Figura 2.10) os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram os que apresentaram mais forte correlação ($r^2=0,76$) onde, além disso, não houve diferenciação

entre espécies florestais e de cerrado. A semelhança não somente na composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, das folhas de espécies florestais e de cerrado (Tabela 2.2), como também entre o $\delta^{13}\text{C}$ do tronco (Tabela 2.4), sugere que a eficiência no uso de água foi similar ao longo de toda vida desses grupos de plantas.

A relação encontrada entre folhas e troncos demonstra o equilíbrio no padrão de fixação de carbono das folhas para a planta como um todo. Contudo, os resultados também mostram uma diferenciação da proporção de ^{13}C em relação ao ^{12}C entre os tecidos das folhas e dos troncos, onde os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foliares foram mais negativos (Figura 2.10). Essa diferenciação na composição do carbono entre os órgãos vegetais é amplamente conhecida, embora não claramente compreendida, e ocorre em todos os grupos de plantas (Read e Farquhar 1991; Schleser 1990, 1992; Waring e Silvester 1994, Pate e Arthur 1998). É provável que essa partição seja função de processos pós-fotossintéticos como o transporte dos produtos metabólicos entre os diferentes órgãos das plantas e função do metabolismo heterotrófico, via respiração, ou assimilação (sem luz) via PEP carboxilases (Badeck *et al.* 2005).

Nos dois grupos de espécies estudados, florestais e características de cerrado, não houve correlação entre os parâmetros analisados nos tecidos vegetais (folhas e tronco) com os estudados nos solos (Figura 2.11). O fato de terem sido tomadas apenas amostras superficiais de solo sob a copa de cada um dos indivíduos pode ser a razão disso uma vez que plantas adultas devem explorar grandes volumes de solo em áreas como as de cerrado em busca de nutrientes e água (Abdala *et al.* 1998, McCulley *et al.* 2004). Entretanto, a falta de correlação vista entre solos e tecido vegetal pode representar também a capacidade dessas plantas em manter sua homeostase e estequiometria química, mesmo diante de variações na fonte desses recursos, ou ainda, que as variações verificadas na fonte (solos) não foram suficientes para deslocar o balanço químico interno dessas espécies (Sterner e Elser 2002). Esse fator pode ser inferido da representação gráfica obtida na figura 2.11, onde as flutuações na fonte de recursos, ou nos nutrientes dos solos, não afetaram a variação dos teores de nutrientes nas folhas e nos troncos.

A densidade da madeira, tanto verde quanto seca, apresentou diferenças significativas entre gêneros, mas não entre espécies de florestas e cerrado, a mesma relação vista para a maioria dos nutrientes do tronco (Tabela 2.4 e 2.5). A densidade está ligada, dentre outras variáveis, às taxas de crescimento das plantas, e apresenta influência também sobre a movimentação de água e consequentemente nutrientes no interior destas (Roderick e Berry 2001). A limitação nutricional, por exemplo, pode impor às espécies florestais crescimento mais lento do que estas teriam em seus habitats de origem, de modo a justificar que a densidade da madeira seja semelhante à de espécies do cerrado.

Vários trabalhos já verificaram maiores taxas de crescimento em altura e diâmetro em espécies típicas de florestas, quando comparadas a espécies do cerrado, introduzidas em um mesmo ambiente, sob influência de adubação (Silva *et al.* 2003, 2005, Corrêa 2006, Silva e Corrêa *no prelo*). As maiores taxas de crescimento verificadas nas espécies florestais devem ser atribuídas ao fato destas responderem melhor à adubação do que espécies de cerrado, adaptadas a solos menos férteis (Gonçalves *et al.* 2004). Em contrapartida, as espécies florestais crescem mais lentamente que as de cerrado quando em condições de baixa fertilidade. Em ambientes abertos, essa pode ser uma grande desvantagem competitiva, visto que o crescimento lento aliado à falta de estruturas adaptativas de resistência ao fogo (Eiten 1990), deixam as plantas florestais por mais tempo susceptíveis à ação do fogo, que é ali recorrente. Sendo assim uma condição limitante à expansão de comunidades florestais sobre fisionomias savânicas (Biddulph e Kellman 1998, Bowman 2000, Higgins *et al.* 2007).

A capacidade adaptativa das plantas é em última análise o que define sua presença em um dado ecossistema. Diferenças verificadas entre gêneros ou entre espécies florestais e de cerrado traduzem mudanças no caminho evolutivo, que podem ser ligadas à especialização para um melhor aproveitamento de recursos, ou uma maior resistência a adversidades em habitats específicos. A divisão evolutiva entre ordens, famílias e gêneros segue uma hierarquia onde todos esses níveis precedem a divisão de gêneros em espécies. Como cada um dos pares congenéricos aqui avaliados pertence a uma diferente família, ou subfamília (Tabela 2.1), fica assegurada a premissa de que a divisão de cada um desses gêneros em espécies florestais e de cerrado ocorreu de forma independente (Cronquist 1981). Dessa forma, diferenças

significativas entre gêneros referem-se a um passado remoto que não necessariamente representam vantagens ou desvantagens adaptativas em relação aos ambientes de cerrado e floresta, enquanto diferenças entre as espécies de origem florestal e de cerrado devem representar especificidades e aspectos adaptativos importantes para seu êxito nesses habitats.

De acordo com Watanabe *et al.* (2007) mais de 25% da variação dos elementos químicos nos tecidos das plantas podem ser explicadas pela filogenética, mais especificamente, pelas diferenças entre famílias. Os atributos foliares aqui avaliados apresentaram essas variações entre as famílias (Tabela 2.3), contudo variáveis como o requerimento nutricional e a área foliar específica apresentaram diferenças altamente significativas entre as comunidades de origem florestal e cerrado (Tabela 2.2). O que aponta essas características como sendo importantes em um segundo nível de separação na história evolutiva das plantas, quando houve a divisão de um mesmo gênero em espécies adaptadas à colonização de nichos específicos. Aparentemente, as características do tronco não tiveram essa mesma relevância, pois em sua maioria, não diferiram entre as comunidades de espécies florestais e de cerrado, embora tenham diferido entre gêneros/famílias (Tabela 2.5). Possivelmente outros fatores, aqui não avaliados, como espessura da casca e potencial de reprodução vegetativa, sejam entre as características ligadas ao tronco, mas relacionadas aos ambientes de origem das plantas e, portanto, mais relevantes à distribuição das espécies em áreas savânicas e florestais.

Além desses aspectos adaptativos e da maior ou menor aptidão das plantas ao desenvolvimento em determinados ecossistemas, possíveis alterações no ambiente devem também ser consideradas como fator de influência sobre a distribuição de comunidades de plantas florestais e de cerrado. Os maiores teores de nutrientes nos solos sob espécies florestais, por exemplo, foram possivelmente os responsáveis pela ocorrência destas fora de seu ambiente de origem. É razoável supor ainda, que existam muitas áreas no cerrado com condição de fertilidade que permita o estabelecimento de espécies florestais, o que poderia promover o adensamento da cobertura arbórea, ou mesmo a expansão de fisionomias florestais (Pinheiro e Monteiro 2006). Sendo nesses casos, os principais fatores limitantes, ligados aos impactos da atividade humana, como aumento na freqüência de fogo, desmatamento e pastoreio.

5 - CONCLUSÕES

A ocorrência de espécies florestais em áreas de cerrado está associada a locais com maiores teores de C orgânico, e maiores concentrações de N, P e Ca nos solos. Não foram encontradas, entretanto, correlações entre nutrientes nos solos e nas plantas, folhas ou troncos. O que sugere que essa maior fertilidade pode ser mais importante no estabelecimento inicial das espécies florestais. Aparentemente, o requerimento nutricional das plantas, está mais relacionado à história evolutiva das espécies do que à disponibilidade no ambiente.

As espécies florestais apresentaram teores foliares de nutrientes, mais elevados do que os das espécies de cerrado, refletindo sua adaptação a ambientes mais férteis. Entretanto, as folhas das espécies de cerrado mostraram-se mais ricas em Ca, o que pode representar uma maior eficiência na absorção desse elemento ou uma maior longevidade foliar. Verificou-se correlação entre N, P e K do tronco e das folhas. No entanto, diferentemente dos nutrientes foliares, os teores de N do tronco foram significativamente mais elevados nas espécies de cerrado. Existindo assim a possibilidade dessas espécies terem desenvolvido uma estratégia de armazenamento de N no tronco. Já os demais nutrientes do tronco não apresentaram diferenças quando comparadas espécies florestais e de cerrado e, assim como, a densidade da madeira, variaram apenas quanto aos diferentes gêneros estudados.

A área foliar específica apresentou valores significativamente mais elevados nas espécies de origem florestal quando comparadas às de cerrado, e não foi verificada diferença significativa entre os gêneros estudados. A área foliar específica foi ainda, correlacionada positivamente com nutrientes foliares apenas nas espécies de cerrado. Nas espécies florestais verificou-se correlação negativa entre AFE e a eficiência no uso de água, estimada pelo $\delta^{13}\text{C}$ foliar, demonstrando a redução de eficiência com o aumento da área foliar, o que não se verificou nas espécies de cerrado. Apesar disso, não houve diferenciação quanto à eficiência no uso de água entre espécies florestais e de cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALA G.C., CALDAS L.S., HARIDASAN M., EITEN G. (1998). Above and below-ground organic matter and root-shoot ratio in a cerrado in central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, 2, 11-23.
- ARAÚJO J.F. (2006). Padrões nutricionais de espécies lenhosas do cerrado. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Universidade de Brasília, 80p.
- ARAÚJO J. F., HARIDASAN M. (2007) Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes nas espécies lenhosas do cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, 30, 533-542.
- ASSUNÇÃO S.L., FELFILI J.M. (2004). Phytosociology of a cerrado sensu stricto fragment at the Paranoá environmental protection area, DF, Brazil. *Acta Botânica Brasílica*, São Paulo, 18 4, 903-909.
- AYRES D.R., RYAN F.J. (1999). Genetic diversity and structure of the narrow endemic *Wyethia reticulata* and its congener *W. bolanderi* (Asteraceae) using RAPD and allozyme techniques. *American Journal of Botany*, 86, 344-353.
- BADECK F.W., TCHERKEZ G., NOGUE'S S., PIEL C., JALEH GHASHGHAIE J. (2005). Post-photosynthetic fractionation of stable carbon isotopes between plant organs - a widespread phenomenon. *Rapid communications in mass spectrometry*, 19, 1381–1391.
- BALDUINO A.P.C.; SOUZA A.L.; NETO J.A.A.; SILVA A.F.; SILVA JÚNIOR M.C. (2005). Fitossociologia e análise comparativa da composição florística do cerrado da flora de Paraopeba-MG. *Revista Árvore*, 29 1, 25-34.
- BIDDULPH I., KELLMAN M. (1998). Fuels and fire at savanna-gallery forest boundaries in southeastern Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*, 14, 445-461.

BORGES H.B.N.; SHEPHERD G.J. (2005). Revista Brasileira Flora e estrutura do estrato lenhoso numa comunidade de Cerrado em Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil de Botânica, 28 1, 61-74.

BOTREL R.T., OLIVEIRA-FILHO A.T., RODRIGUES L.A., CURI N. (2002). Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidua em Ingaí, MG. Revista Brasileira de Botânica, 25 2, 195-213.

BOWMAN D.M.J.S. (2000). Australian Rainforests: Islands of Green in a Land of Fire. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 357 p.

BROWN J.H. (1998). Species diversity. In: Analytical Biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions. (Myers A.A. e Giller P.S. eds.) pp. 57-89. Chapman and Hall, London.

BROWN J.H. E LOMOLINO. (1998). Biogeography. Sunderland, Sianuer Associates. 692 p.

BUSTAMANTE M.M.C., MEDINA E., ASNER G.P., NARDOTO G.B.; GARCIA-MONTIEL D.C. (2006). Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. Biogeochemistry, 79, 209–237.

CHAPIN F.S., WALKER B.H., HOOBS R.J., HOOPER D.U., LAWTON J.H., SALA O.E., TILMAN D. (1997). Biotic control over the functioning of ecosystems. Science, 277, 63-87.

COUTINHO L.M. (1978). O conceito de Cerrado. Revista Brasileira de Botânica, 1, 17-23.

CORRÊA R.S. (2006). Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado - Manual para revegetação. Brasília, Ed. Universa. 187p.

COX C.B. E MOORE P.D. (1993). Biogeography: an ecological and evolutionary approach. 5 ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 326 p.

CRONQUIST A. (1981). An Integrated system of classification of flowering plants. New York: Columbia University, 1262p.

EHLERINGER J.R., HALL A.E., FARQUHAR G.D. (1993) Stable Isotopes an Plant Carbon–Water Relations. Academic Press, San Diego, CA, USA.

EITEN G. (1984). Vegetação do Cerrado In Cerrado: caracterização ocupação e perspectiva (PINTO M.N. eds.) SEMATEC/UnB, Brasília, p. 9-65.

EMBRAPA. (1997). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) 212p.

EMBRAPA. (1999). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília. 412p.

EMBRAPA. (2005). Manual de laboratórios: Solo, Água, Nutrição Animal e Alimentos (A.R.A. NOGUEIRA e G.B. SOUZA, eds.) Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, SP, 313p.

FARQUHAR G.D., O'LEARY M.H., BERRY J.A. (1982). On the relationship between carbon isotope discrimination and intercellular carbon dioxide concentration in leaves Australian Journal of Plant Physiology, 9, 121-137.

FARQUHAR, G.D. E RICHARDS, R.A. (1984) Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. Australian Journal of Plant Physiology, 11, 539–552.

FARQUHAR G.D., HUBIK K.T., CONDON A.G., RICHARDS R.A. (1988). Carbon isotope fractionation and plant water-use efficiency. *Stable Isotopes in Ecological Research* (Rundel P.W., Ehleringer J.R., Nagy K.A., eds.), pp. 21–40. Springer-Verlag, New York.

FELFILI J.M., SILVA JUNIOR, M.C. (1992). Floristic composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forests at Fazenda Água Limpa, Federal District, Brazil. In: *Nature and dynamics of forest-savanna boundaries* (Furley J.A., Proctor, Ratter J.A., eds.). Pp. 393-415. Chapman e Hall, London.

FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C.; MARINON, B. S.; DELITTI, W. B. C. (2002). Composição florística e fitossociologia do cerrado restrito do município de Água Boa, MT. *Acta Botânica Brasílica*, São Paulo, 16 1, 103-112.

FRANCO A.C. (2005). Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. In: *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. (Scariot A., Felfili J.M.; Sousa-Silva J.C., eds.) pp. 179-196. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

FRANCO A.C., BUSTAMANTE M., CALDAS L.S., GOLDSTEIN G., MEINZER F.C., KOZOVITS A.R., RUNDEL P., VERA T., CORADIN R. (2005). Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees*, 19, 326–335.

FURLEY, P.A. (1992). Edaphic changes at the forest-savanna boundary with particular reference to the neotropics. *Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries* (eds P.A. Furley, J. Proctor e J.A. Ratter), pp. 91–115. Chapman e Hall, London.

GARTEN Jr.C.T. (1976). Correlations between concentrations of elements in plants. *Nature* 261, 686-688.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; NETO, S. P. M.; MANARA, M. P. Seedling production of native species: substrate, nutrition, shading, and fertilization. In: *Forest nutrition*

and fertilization. (GONÇALVES J.L.M. e BENEDETTI V., orgs) pp.307-345. Piracicaba, Instituto de Pesquisas Florestais e Estudos Florestais.

GOTTLIEB O.R., MEDITSCH J. de O., MAGALHÃES M.T. (1966). Com vistas ao aproveitamento do cerrado como ambiente natural: composição química de espécies arbóreas. Anais da Academia Brasileira de Ciências (Suplemento), 38, 303-314.

HARIDASAN M. (1992) Observations on soils, foliar nutrient concentrations and floristic composition of cerrado sensu stricto and cerradão communities in central Brazil. *Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries* (eds P.A. Furley, J. Proctor e J.A. Ratter), pp. 171–184. Chapman e Hall, London.

HARIDASAN M. (2007). Solos (da Chapada dos Veadeiros). In: Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos. (Felfili, J.M.; Rezende, A. V.; Silva Júnior, M. C. orgs.) pp. 25-43. Editora Universidade de Brasília/FINATEC, Brasília. 256p.

HIGGINS S.I., BOND W.J., FEBRUARY E.C. *et al.* (2007) Effects of four decades of fire manipulation on woody vegetation structure in savanna. *Ecology*, 88, 1119-1125.

HOFFMANNN W.A. e FRANCO A.C. (2003) Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically-independent contrasts. *Journal of Ecology* 91, 475–484.

HOFFMANN W. A., MOREIRA M. C., FRANCO A. C. E HARIDASAN M. (2005). Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. *Functional Ecology*, 19, 932–940.

IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NAVÉ, A.G. (1999). Fitossociologia de um Trecho de Floresta Estacional Semidecidual em Itatiba, São Paulo, Brasil. *Scientia Florestalis*, 5, 83-99.

JIPP P.H., NEPSTAD D.C., CASSEL D.K., CARVALHO C.R. (1998). Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia. *Climate Change*, 39, 395-412.

JOBBAGY E.G., JACKSON R.B. (2004). The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales. *Ecology*, 85, 2380-2389.

KENT M., COKER P. (1992). *Vegetation Description and Analysis*. Belhaven Press. London. 363 p.

KING D.A. (2003). Allocation of above-ground growth is related to light in temperate deciduous saplings. *Functional Ecology* 17, 482–488.

LARCHER W. (2000). *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, RiMa, 531 p.

MCCULLEY R.L., JOBBÁGY E.G., POCKMAN W.T. E JACKSON R.B. (2004). Nutrient uptake as a contributing explanation for deep rooting in arid and semi-arid ecosystems, *Oecologia*, 141, 620–628.

MACCUNE B.; MEFFORD M.J. (1997). PC-ORD: multivariate analysis of ecological data. Version 3.0. Oregon: MjM Software Design.

McCULLEY R.L., JOBBÁGY E.G., POCKMAN W.T. E JACKSON R.B. (2004). Nutrient uptake as a contributing explanation for deep rooting in arid and semi-arid ecosystems, *Oecologia*, 141, 620–628.

MEDINA E. (1993). Mineral nutrition: tropical savannas. *Prog. Bot.* 54, 237–253.

MEDINA, E. e CUEVAS, E. (1996). Biomass production and accumulation in nutrient-limited rain forests: Implications for responses to global change. In: *Amazonian Deforestation and*

Climate. (Gash J.H.C., Nobre C.A., Roberts J.M., Victoria R.L., eds.), pp. 221-239. Wiley, Chichester.

MEDINA E., IZAGUIRRE M.L. (2004). N₂-fixation in tropical American savannas evaluated by the natural abundance of ¹⁵N in plant tissues and soil organic matter. Tropical Ecology. 45, 87-95.

MÉIO B.B., FREITAS C.V., JATOBÁ L., SILVA M.E.F., RIBEIRO J.F., HENRIQUES R.P.B. (2003). Influência da flora das florestas Amazônica e Atlântica na vegetação do cerrado sensu stricto. Revista brasileira de Botânica. 26 4, 437-444.

MENDONÇA R.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA-JÚNIOR, M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S.e NOGUEIRA, P.E.N. (1998). Flora lenhosa do bioma cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora (SANO S.M. e ALMEIDA S.P., orgs.) pp. 287-556. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

MENGEL K., KIRKBY E.A. (1987). Principles of plant nutrition. 4. ed. Bern: International Potash Institute. 687 p.

MERINO, J., FIELD, C., MOONEY, H.A. (1984): Construction and maintenance costs of Mediterranean-climate evergreen and deciduous leaves. Acta oecologia/Plant. 5, 211-229.

MIRANDA AC, MIRANDA HS, LLOYD J et al. (1996) Carbon dioxide fluxes over a cerrado sensu stricto in central Brazil. In : Amazonian deforestation and climate (eds. Gash JHC, Nobre CA, Roberts JM, Victoria RL) pp. 353-364. John Wiley and Sons, Chichester.

NASCIMENTO, A.R.T.; FELFILI, J.M. E MEIRELLES, E.M. (2004). Florística e estrutura da comunidade arbórea de um remanescente de Floresta Estacional Decidual de encosta, Monte Alegre, GO, Brasil. Acta Botânica Brasílica 18 3, 659-669.

OYAMA M.D., NOBRE C.A. (2003). A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 30, 51-55.

PATE J., ARTHUR D. (1998). $\delta^{13}\text{C}$ analysis of phloem sap carbon: novel means of evaluating seasonal water stress and interpreting carbon isotope signatures of foliage and trunk wood of *Eucalyptus globulus*. *Oecologia*, 117, 301-311.

PEIXOTO M.M. (2007). Variações sazonais no metabolismo de carbono e relações hídricas em espécies lenhosas do Cerrado de diferentes grupos funcionais. Dissertação de Mestrado. Departamento de Botânica. Universidade de Brasília.

PINHEIRO M.H.O., MONTEIRO R. (2006). Contribution of Forest Species to the Floristic Composition of a Forested Savanna in Southeastern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49, 5, 763-774.

PINTO J.R.R., OLIVEIRA-FILHO A.T. e HAY J.D.V. (2006). Influence of soil and topography on the composition of a tree community in a Central Brazilian forest. *Edinburgh Journal of Botany*, 62, 69-90.

POORTER H. (1994): Construction costs and payback time of biomass: a whole plant perspective. In: *A Whole Plant Perspective on Carbon-nitrogen Interactions*. (Roy J., Garnier E. eds.) pp. 111-127. SPB Academic Publishing, The Hague.

RADAMBRASIL. (1982). Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral, Folw SD 23, Brasília: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 660 p.

RATTER J.A., BRIDGEWATER S., ATKINS R., RIBEIRO J.F. (1996). Analysis of floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation. II. Comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 53, 153-180.

RATTER, J.A., BRIDGEWATER, S. e RIBEIRO, J.F. (2003). Analysis of the floristic composition of the brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. Edinburgh Journal of Botany 60, 57-109.

RAVEN P.H.; EVERT R.F.; CURTIS H. (1978). Biologia Vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 724 p.

READ G., FARQUAR G.D. (1991). Comparative studies in Nothofagus (Fagaceae). I. Leaf carbon isotope discrimination. Functional Ecology. 5, 684-695.

REATTO A., MARTINS E. S., FARIAS M. F. R., SILVA A. V., CARVALHO JÚNIOR O. A. (2004). Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p.

REICH, P.B., WALTERS, M.B., ELLSWORTH, D.S. (1992) Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. Ecological Monographs 62, 365–392.

REICH P.B. (1993). Reconciling apparent discrepancies among studies relating life span, structure and function of leaves in contrasting plant life forms and climates: “the blind men and the elephant retold” Functional Ecology. 7, 721–725.

REICH P., WALTERS M.B., ELLSWORTH D.S. (1997) From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 94, 13730–13734.

REICH P.B., TJOELKER M.G., WALTERS M.B., VANDERKLEIN D.W., BUSCHERA C. (1998) Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. Functional Ecology 12, 327–338.

RIBEIRO, J.F. e WALTER, B.M.T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora. (SANO, S.M., ALMEIDA S.P. orgs.) pp. 89-166. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

RIZZINI C.T. (1963). A flora do cerrado; analise floristica das savanas centrais. In: SIMPOSIO sobre o Cerrado, Sao Paulo. Sao Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, p.125-117.

RODERICK M.L., BERRY S.L. (2001) Linking wood density with tree growth and environment: a theoretical analysis based on the motion of water. *New Phytologist* 149, 473-485.

RUGGIERO, P. G. C.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T. (2002). Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology* 160, 1-16.

SANTIAGO. (2005). Fitossociologia da regeneração arbórea na Mata de Galeria do Pitoco (IBGE-DF), seis anos após fogo acidental. *SCIENTIA FORESTALIS*. 67, 64-77.

SCHLESER G.H. (1990). Investigations of the $\delta^{13}\text{C}$ pattern in leaves of *Fagus sylvatica* L. *J Exp Bot.* 41, 565-572.

SCHLESER G.H. (1992). $\delta^{13}\text{C}$ pattern in a forest tree as an indicator of carbon transfer in trees. *Ecology*. 73, 1922-1925.

SILVA JÚNIOR M.C. (2004). Fitossociologia e estrutura diamétrica da mata de galeria do Taquara na reserva ecológica do IBGE, DF. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, 28 3, 419-428.

SILVA L.C.R., QUEIROZ V.L., MELLO FILHO B. E CORRÊA R.S. (2003). Avaliação da sucessão secundária após a revegetação de uma área minerada no Cerrado. In: 8º Congresso Florestal Brasileiro. Pôsteres. São Paulo.

SILVA L.C.R., CORRÊA R.S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no Cerrado. (no prelo)

SOKAL R.R., ROHLF J.F. (1995). Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3rd edition. New York. 887 p.

STERNER R.W., ELSEY J.J. (2002) Ecological Stoichiometry. In: Ecological Stoichiometry (Freeman W.H. ed.) pp. 1-43, Princeton University Press.

STEPHENS B.B., GURNEY K.R., TANS P.P. et al. (2007). Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO₂. Science, 316, 1732-1735.

TALLIS J.H. (1991). Plant Community History. Long-term changes in plant distribution and diversity. London: Chapman and Hall. 231 p.

WARING R.H., SILVESTER W.B. (1994). Variation in foliar d13C values within the crowns of *Pinus radiata* trees. Tree Physiol 14, 1203-1213.

WATANABE T., BROADLEY M.R., JANSEN S., WHITE P.J., TAKADA J., SATAKE K., TAKAMATSU T., TUAH S.J., OSAKI M. (2007). Evolutionary control of leaf element composition in plants. New Phytologist. 174, 516-523.

WHITTAKER, R.H. (1953). A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern. Ecological Monographs, 23 1, 41-78.

WHITTAKER, R.H. (1975). Communities and Ecosystems. 2nd ed. Macmillan, New York.

WRIGHT I.J., REICH P.B. e WESTOBY M. (2001). Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. Functional Ecology 15, 423–434.

ZARR J. (1999). Biostatistical Analysis. (River N.J. ed.) pp. 87–89, Prentice-Hall, 146-153.

CAPÍTULO III – CARACTERÍSTICAS DE ESPÉCIES LENHOSAS EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO BIOMA CERRADO

1 - INTRODUÇÃO

A capacidade adaptativa de espécies a diferentes condições ambientais é um dos pontos chave a serem debatidos quando se trata das dinâmicas de transição e evolução dos ecossistemas. Em se tratando de plantas lenhosas, a ecologia e distribuição das espécies respondem, dentre outros fatores, aos potenciais de plasticidade fisiológica, como, variações das taxas de fotossíntese, mecanismos de tolerância ao estresse hídrico (Franco 2002, 2005), requerimento nutricional e tolerância à presença de elementos potencialmente tóxicos, aspectos esses, muitas vezes diferenciados entre gêneros e famílias (Broadley *et al.* 2001, 2004, Haridasan 1998, 2005).

Os processos de dispersão e o intercâmbio de espécies entre ecossistemas distintos dependem ainda das configurações geográficas, eventos históricos e mecanismos reguladores da riqueza das comunidades (Schluter e Ricklefs 1993), onde os diferentes mecanismos adaptativos determinam o compartilhamento de recursos e definem a estrutura vegetacional e a biodiversidade à que pode dar suporte um dado ecossistema (Franco 2002).

A variedade de fitofisionomias e de condições ambientais que configuram o mosaico de paisagens no Cerrado é tema exaustivamente debatido na literatura (Rizzini 1963, Eiten 1972, 1990, Ribeiro e Walter 1998, Méio *et al.* 2003, Ratter *et al.* 2003). Entretanto, os limites e a distribuição das formas de vegetação em toda a região, podem estar em contínuo movimento e processo de mudança, a exemplo das transformações evidenciadas na região no passado (Ledru 1992). De modo que a grande diversidade de espécies, gêneros e famílias que se desenvolvem com sucesso em diversas fitofisionomias, (Ratter *et al.* 2003, Mendonça *et al.* 1998), traz à tona a discussão sobre qual seria o papel dessas espécies, na manutenção dos limites e no futuro dos ecossistemas na região do Cerrado.

Trabalhos recentes têm demonstrado que existem diferenças entre espécies de origem florestal e espécies características de cerrado, mesmo quando sujeitas a condições ambientais idênticas

(Hoffmannn *et al.* 2005a). De acordo com Watanabe *et al.* (2007), em condições naturais, a variação encontrada entre os atributos nutricionais e a composição elementar do tecido vegetal é em mais de 25% explicada pela filogenia, onde as diferenças podem ser atribuídas principalmente à separação entre famílias. Segundo os autores, o percentual restante (< 75%) é provavelmente função de influências do meio externo, sem, no entanto, estarem claros quais os principais fatores atuantes. O que coloca a plasticidade das plantas em voga na determinação de seus habitats de ocorrência.

No Cerrado, variáveis ambientais importantes, como estrutura física do solo, teor de carbono orgânico, disponibilidade de nutrientes, luz, água, freqüência de queimadas, entre outras, variam muito e estão associadas de forma diferenciada em cada uma das fitofisionomias que compõem o bioma (Eiten 1972, 1990, Furley 1992, Haridasan 1990, 1998, 2005, Reatto *et al.* 2004). A composição florística, determinação de espécies típicas e até mesmo exclusivas de cada uma dessas fitofisionomias, além da estrutura dessas comunidades, têm sido bem descritas nos últimos anos (Borges e Shepherd 2005, Balduíno *et al.* 2005, Moreno 2005, Santiago *et al.* 2005, Nascimento *et al.* 2004, Assunção e Felfili 2004, Felfili *et al.* 1992, 2002, Silva Júnior 1995, 2004, Botrel *et al.* 2002, Ivanauskas *et al.* 1999). Entretanto, pouco se sabe sobre o comportamento de espécies generalistas, quando estas se encontram estabelecidas em condições ambientais contrastantes como as encontradas nos diferentes ecossistemas do Cerrado.

Em florestas tropicais são conhecidas alterações morfofisiológicas das plantas em resposta a variações no regime de luz como, mudanças nas taxas de assimilação líquida de carbono, na razão de área foliar (Osunkoya *et al.* 1994), bem como no aproveitamento e eficiência de utilização de nutrientes (Elliot e White 1994). Onde a aclimatação à variação de luminosidade é dependente da capacidade da planta em alterar tanto a alocação de biomassa quanto sua eficiência fotossintética (Osunkoya *et al.* 1994). Nesses ambientes, a baixa incidência da radiação nos estratos inferiores, sob um dossel denso, tende a limitar o crescimento vegetal, no entanto, muitas plantas não somente estão adaptadas a se desenvolver nessa condição, como podem fazê-lo de forma ainda mais eficiente, com o aumento da incidência da radiação solar em função de eventuais clareiras, por exemplo (Whitmore 1998).

No caso específico do bioma Cerrado, todas as espécies capazes de se desenvolver tanto em ecossistemas onde a luz chega aos estratos inferiores de forma difusa, como matas de galeria, quanto também em ambientes onde a radiação solar incide diretamente, como áreas de cerrado sentido restrito, devem possuir uma ampla plasticidade com relação a este recurso. Sendo que sob regime de luz não limitante, como ocorre em ambientes savânicos, as espécies tendem a favorecer o crescimento de raízes, a apresentar maiores taxas de crescimento e de assimilação líquida de carbono (Osunkoya et al. 1994), além de incrementar o seu aproveitamento nutricional (Peace e Grubb 1982).

Já sob regimes nutricionais não limitantes, como o verificado em alguns solos florestais, as espécies normalmente, apresentam, menor razão raiz/parte aérea (Gunatilleke *et al.* 1997) e menor eficiência na utilização de nutrientes (Shaver e Melillo 1984, Haridasan 2005). Nesses sistemas, os teores de nutrientes nas folhas tendem a refletir a disponibilidade destes no solo (Haridasan 2001, Haridasan e Araújo 2005), embora a demanda e eficiência na utilização de nutrientes dependam em grande parte da espécie e do nutriente avaliado (Elliot e White 1994), sendo a demanda específica das espécies capaz de influenciar o teor nutricional da vegetação como um todo (Medina e Cuevas 1996) e, consequentemente, alterar a produtividade e diversidade de comunidades e ecossistemas (Grime 2001, Reich 2005).

Outras características das plantas também podem variar de acordo com as condições externas compondo complexos processos de retroalimentação, como a área foliar específica (AFE) que em vários biomas está fortemente associada ao teor de nutrientes foliares (Reich *et al.* 1997). Esta relação, no entanto, pode mudar de acordo com a quantidade de água disponível (Wright *et al.* 2001), outra variável fundamental na relação entre meio físico e vegetação. Segundo Hoffmannn *et al.* (2005b) a cobertura foliar de espécies florestais e de cerrado, por serem diferentes, desempenham papéis distintos também na dinâmica de interfaces entre formações savânicas e florestais, com interferência relevante sobre a freqüência de fogo, microclima e ciclagem de nutrientes.

Sabendo-se, portanto, da importância da plasticidade de espécies lenhosas e sua interação com variáveis ambientais, na ecologia de ecossistemas, o presente estudo teve por objetivo avaliar variações nas características de 17 espécies nativas, estabelecidas naturalmente em fitofisionomias distintas do bioma Cerrado: matas de galeria, mata semidecídua, cerradão e cerrado sentido restrito. Foram testadas as hipóteses de que o teor de nutrientes nas folhas e troncos e a área foliar específica são menores em plantas estabelecidas no cerrado, enquanto a eficiência no uso de água é menor nas plantas estabelecidas em fitofisionomias florestais. As áreas de amostragem estão localizadas no Distrito Federal e foram caracterizadas também quanto aos atributos químicos e físicos dos solos.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - ÁREAS DE ESTUDO E ESPÉCIES AVALIADAS

Foram identificadas 17 espécies lenhosas do Cerrado de ocorrência natural em diferentes ambientes do bioma (Tabela 3.1). Todas as espécies foram amostradas em áreas de cerrado sentido restrito, seguindo-se posteriormente, a amostragem em pelo menos uma das seguintes fitofisionomias florestais: cerradão; mata semidecídua e mata de galeria. Com exceção de *Vochysia tucanorum* e *Qualea grandiflora* ambas espécies da família Vochysiaceae, e das espécies *Copaifera langsdorffii* e *Machaerium acutifolium* pertencentes a subfamílias distintas da família Leguminosae, não houve repetição de famílias entre as demais espécies analisadas (Tabela 3.1).

Entre as espécies avaliadas com exceção de *Qualea grandiflora* e *Kielmeyera coriacea* espécies típicas de cerrado sentido restrito e *Myrcia tomentosa* e *Agonandra brasiliensis* que podem ser encontradas em cerrado e florestas, as demais são consideradas como sendo espécies características de ambientes florestais. Vários levantamentos fitossociológicos feitos na região, ou trabalhos baseados nesse tipo de dado primário, confirmam os locais onde a presença dessas espécies é mais expressiva. Neles podem ser verificados os habitats preferenciais das espécies aqui avaliadas (Borges e Shepherd 2005, Balduíno *et al.* 2005, Assunção e Felfili 2004, Mendonça *et al.* 1998, Felfili *et al.* 1992, 2002, Santiago *et al.* 2005; Nascimento *et al.* 2004; Silva Júnior 1995, 2004; Botrel *et al.* 2002; Ivanauskas *et al.* 1999; Mendonça *et al.* 1998).

As áreas de amostragem utilizadas neste estudo em fisionomias abertas, ou cerrados, localizam-se majoritariamente dentro da Reserva Ecológica do Roncador RECOR-IBGE, sendo utilizadas adicionalmente áreas no ParkWay (ARIE Granja do Ipê) e Centro Olímpico da Universidade de Brasília. Dentre as áreas florestais, a área de cerradão está localizada na EMBRAPA-Cerrados em Planaltina – DF, enquanto a área de mata semidecídua situa-se na CIPLAN, Fercal – DF. Para a amostragem de espécies nas matas de galeria, foram escolhidas duas matas, a do córrego do Taquara e a do córrego do Pitoco, ambas localizadas na Reserva Ecológica do Roncador, IBGE em Brasilia – DF. Todas as localidades de amostragem são

áreas preservadas de vegetação nativa, onde cada uma das espécies avaliadas teve entre 3 e 5 indivíduos amostrados, com no mínimo 15 cm de circunferência a 30 cm do solo.

Tabela 3.1 – Lista das espécies estudadas e ambientes onde foram amostradas.

Famílias	Espécies	cerrado sentido restrito	cerradão	mata semidecídua	mata de galeria Pitoco	mata de galeria Taquara
Verbenaceae	<i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.	X		X		X
Opiliaceae	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth	X	X	X		
Rubiaceae	<i>Alibertia macrophylla</i> K. Schum.	X	X	X	X	X
Leg/Caesalpinoideae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	X	X		X	X
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	X	X		X	
Clusiaceae	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	X	X	X		
Leg/Papilonoideae	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	X		X		
Myrtaceae	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	X	X	X	X	X
Ochnaceae	<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	X		X	X	X
Asteraceae	<i>Piptocarpha macropoda</i> (DC.) Baker	X			X	X
Sapotaceae	<i>Pouteria torta</i> var. <i>glabra</i> (Mart.) Radlk.	X			X	
Vochysiaceae	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	X	X	X		
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.)Maguire	X	X		X	X
Symplocaceae	<i>Symplocos mosenii</i> Brand.	X			X	X
Bignoniaceae	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson	X	X	X		
Combretaceae	<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	X		X	X	X
Vochysiaceae	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	X	X			

2.2 - PARÂMETROS AVALIADOS E ANÁLISE DE DADOS.

Foram tomadas, em cada indivíduo, amostras de folhas, troncos e solos, no período entre Agosto e Setembro de 2006. Para a amostragem foliar foram selecionadas folhas maduras, completamente expandidas, localizadas na parte externa das copas, onde houvesse o mínimo sombreamento possível. Nas coletas de tronco utilizou-se trado modelo sueco de 4 mm de diâmetro para retirada de baguetas a 30 cm de altura do solo. As amostras de solo foram tomadas, na vizinhança imediata de cada um dos indivíduos amostrados, a uma profundidade de 0-10 cm. Uma avaliação mais completa dos solos de cada uma das fitofisionomias aqui

estudadas foi apresentada e discutida no capítulo I deste trabalho e inclui a análise química do perfil do solo até 1 m de profundidade.

A determinação de nutrientes nas folhas e nos troncos foi realizada após digestão total das amostras seguida da análise do N por colorimetria em um espectrofotômetro UV-visível e dos demais macro e micronutrientes, por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP Plasma – Thermojarrel, JICA-Japão) conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2005). Dentre as análises químicas de solo, a disponibilidade de P, K e dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) foi determinada de acordo com Mehlich (1953) em extração ácida (0,05 M H₂SO₄ + 0,05 M HCl), e medidos com o espectrofotômetro uv-visível, fotômetro de chama e espectofotômetro de absorção atômica. Os nutrientes Ca, Mg e o Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl (1M), o Al foi determinado por titulação ácido-base com NaOH (0,01 M) e os elementos Ca e Mg, em espectofotômetro de absorção atômica. Para o cálculo da saturação por bases foi utilizada também a acidez potencial (H+Al) obtida com extração por C₄H₆CaO₄ (0,5 M) seguida de titulação ácido-base com NaOH (0,02 M) de acordo com EMBRAPA (1997, 2005). O N teve seu teor total no solo estimado pelo método Kjeldahl de acordo com Bremner e Mulvaney (1982) com digestão completa a 350° C seguida por titulação ácido-base com H₂SO₄. O percentual de carbono orgânico foi calculado pelo método da oxidação por via úmida (Walkley e Black, 1934), o pH foi medido numa solução 1:2,5 de solo-água e a densidade aparente determinada, pela razão entre a massa seca e o volume, de amostras de solo indeformadas (EMBRAPA 1997, 2005).

Foi determinada a área foliar específica (AFE) de cada indivíduo pela razão entre a área foliar, mensurada logo após a coleta no campo, e a massa seca dessas mesmas folhas, utilizando-se no mínimo cinco folhas por indivíduo. A área das folhas foi determinada com um medidor de área foliar automático, *Automatic Area Meter - AAC400* (Hayashi Denkon-Tóqui, Japão). No cálculo da densidade verde e seca da madeira de cada um dos indivíduos, foram utilizados os valores de volume e massa das baguetas, imediatamente após sua coleta no campo, bem como após secagem. Para determinação tanto da área foliar específica, quanto da densidade da madeira seca, as amostras de folha e tronco foram secas por 48 h em estufa de circulação forçada a 70°C.

Foi ainda determinada a eficiência do uso de água, pela análise de isótopos de carbono, $\delta^{13}\text{C}$, da biomassa vegetal, conforme descrito por Farquhar (1982). A composição isotópica foi expressa em relação a um padrão de referência (PDB), onde os valores isotópicos representados pela notação δ que fornece a variação per mil (%). No caso do ^{13}C , por exemplo, a notação é empregada seguindo-se a equação:

$$\delta^{13}\text{C} = [((^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{amostra}} - (^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{PDB}}) / (^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{PDB}}] \cdot 1000$$

Onde, quanto mais negativo o valor de $\delta^{13}\text{C}$ menor é a eficiência no uso de água pela planta (Farquhar 1982). Esta relação foi determinada nas folhas e troncos das plantas, secos e moídos, através de um Analisador Elementar (Eurovector-Milão, Itália) acoplado a um Espectrômetro de Massa (Isoprime IRMS-Manchester, Inglaterra). Procedimentos realizados no laboratório de isótopos estáveis do Departamento de Biologia da Universidade de Miami, LSIETE.

Para a comparação simultânea entre os resultados obtidos nos cinco ambientes estudados (cerrado, cerradão, mata semidecídua, mata de galeria Pitoco e mata de galeria Taquara) foi utilizado o teste de Duncan (Duncan 1955) onde foram consideradas significativas, diferenças em que $p < 0,05$. Foram também comparados os resultados obtidos em cada uma das fitosionomias florestais, com os resultados verificados no cerrado, considerando-se apenas as espécies em comum. Para essas comparações foi utilizada análise de variância fatorial, ANOVA, verificando-se possíveis diferenças entre espécies e entre ambientes (florestas e cerrado).

Os valores de nutrientes de folhas, troncos, solos e área foliar específica sofreram, anteriormente às análises, transformação logarítmica (\log_{10}), pois apresentaram heterogeneidade de variância. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$, por serem negativos não foram transformados. Alguma variáveis mesmo após a transformação não apresentaram variância homogênea. Nesses casos seguiram-se normalmente as análises estatísticas dos dados transformados, uma vez que a ANOVA fatorial é robusta o bastante, desde que o número de repetições a serem comparadas sejam iguais ou próximos, para permitir que se ignore a premissa de análises paramétricas, que requer homogeneidade de variância (Zar 1999).

3 – RESULTADOS

Foram verificadas diferenças significativas entre os teores de macronutrientes nas folhas, considerando-se todas as espécies amostradas em cada fitofisionomia (Figura 3.1). O N foi mais elevado no cerradão e mata semidecidua, sendo esta última semelhante à mata de galeria do Taquara. Os teores de P variaram pouco entre as fitosionomias, contudo, cerradão e mata de galeria do Taquara apresentaram valores significativamente mais elevados do que as demais. O cerradão também apresentou as maiores concentrações de K foliar, já o Ca foi muito superior nas plantas da mata semidecidua e o Mg significativamente mais elevado na mata de galeria do Pitoco.

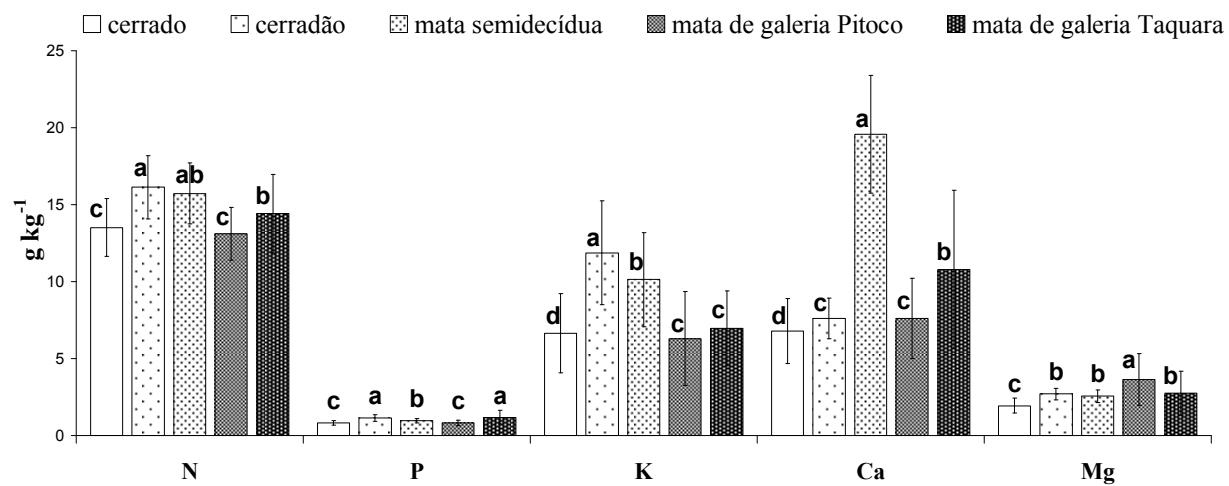


Figura 3.1 – Teores médios foliares de N, P, K, Ca e Mg das plantas amostradas nas diferentes fitofisionomias estudadas, considerando-se todas as espécies. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$) e barras de erros correspondem aos desvios-padrão das médias.

Quando consideradas as espécies separadamente, os teores foliares de N e P foram correlacionados (Figura 3.2), onde, de um modo geral, os indivíduos amostrados no cerradão, mata de galeria do Taquara e mata semidecidua, apresentaram os maiores valores tanto de N quanto de P, tendo sido registradas as maiores concentrações de ambos nutrientes nas folhas da espécie *Agonandra brasiliensis* no cerradão. No cerrado sentido restrito e na mata de galeria do Pitoco, foram encontrados os menores valores de N e P, não tendo sido verificadas grandes variações entre espécies. A exceção foi *Aegiphila sellowiana* que no cerrado

apresentou elevados teores desses nutrientes, enquanto *Kielmeyera coriacea*, também no cerrado, apresentou os menores valores dentre todas as espécies.

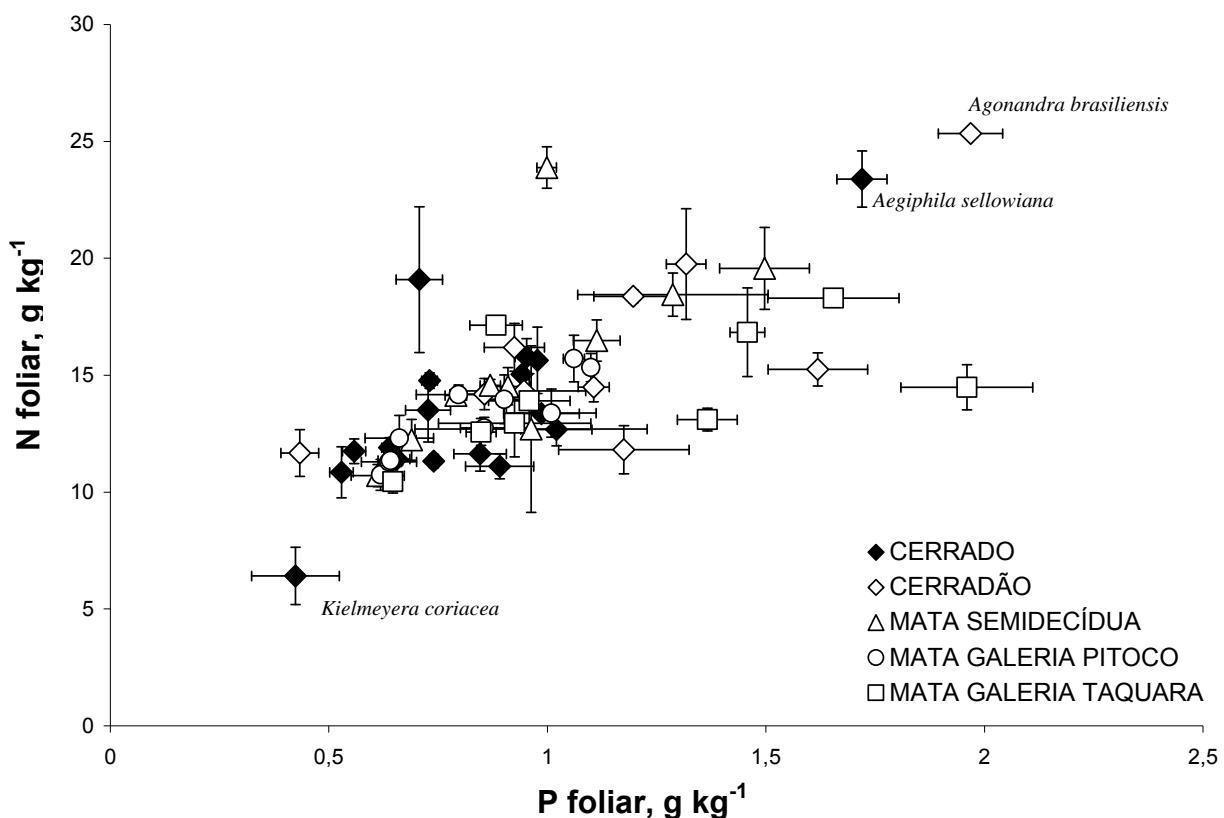


Figura 3.2 – Correlação entre concentrações foliares de N e P de 17 espécies lenhosas encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias referentes a cada um dos eixos.

Os nutrientes foliares Ca e Mg também foram correlacionados na maior parte das fitofisionomias estudadas (Figura 3.3). Todavia, as espécies da mata semidecídua diferenciaram-se das demais por possuírem maior razão Ca:Mg. Assim como observado nos teores de N e P a espécie *Agonandra brasiliensis* apresentou os maiores teores de Ca nas folhas dentre todas as espécies avaliadas, tendo sido verificadas as maiores concentrações na mata semidecídua e cerrado, respectivamente.

As demais espécies amostradas no cerrado assim com no cerradão, apresentaram as menores concentrações de Ca e de Mg, enquanto as encontradas nas matas de galeria e mata semidecídua foram mais elevadas. Os maiores teores de Mg foram verificados *Symplocus mosenii* e *Aegiphila sellowiana* nas matas de galeria do Pitoco e do Taquara respectivamente.

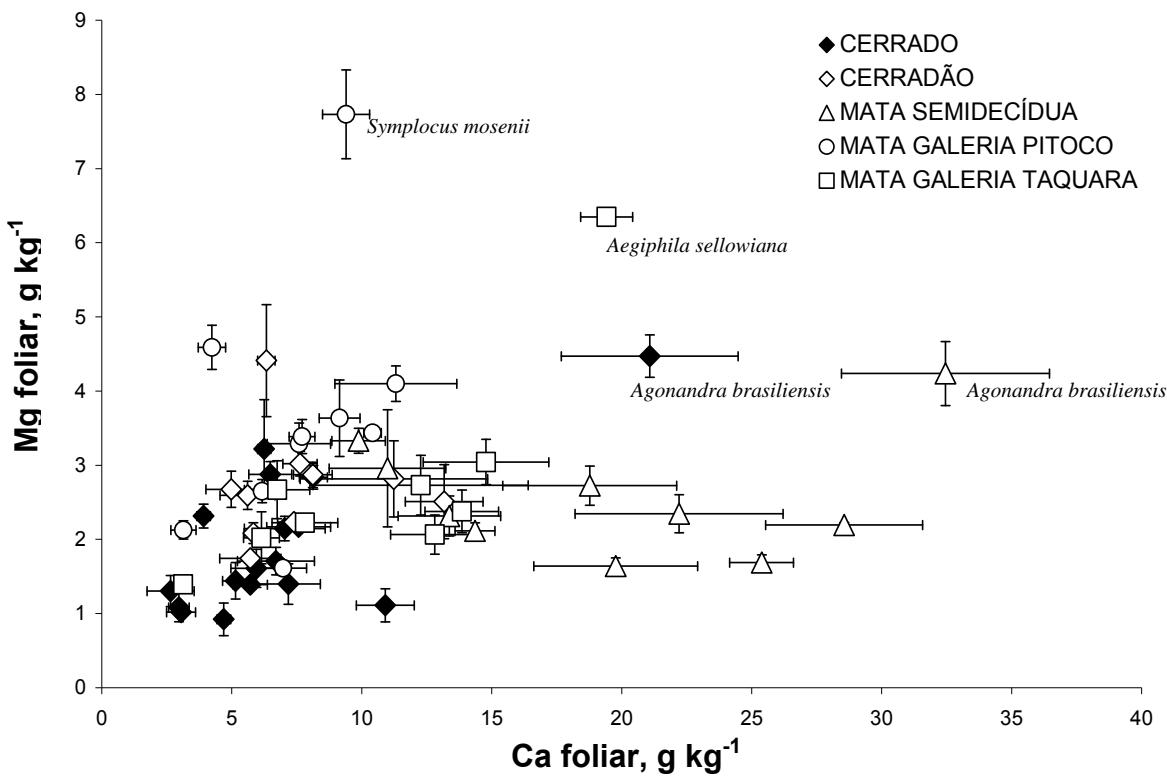


Figura 3.3- Correlação entre concentrações foliares de Ca e Mg de 17 espécies lenhosas encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias referentes a cada um dos eixos.

Os macronutrientes no tronco apresentaram maior uniformidade comparando-se as diferentes comunidades, com, no entanto, grandes variações de teor nutricional dentro da cada fisionomia, principalmente nos teores de Ca (Figura 3.4). Não houve diferenças significativas quanto os teores de Ca e Mg e mesmo onde foram verificadas diferenças, como nas concentrações de N e P, mas elevadas nos troncos das plantas da mata semidecídua, os valores médios foram muito próximos entre as fisionomias.

Os teores de N e P, assim como nas folhas, foram correlacionados nos troncos, entretanto, não houve uma clara separação entre fisionomias (Figura 3.5). Os maiores valores de P foram verificados no tronco de *Pouteria torta* e os menores no de *Alibertia macrophylla*, ambas no cerrado. Já os maiores valores de N foram verificados na mata semidecídua e cerradão, no tronco das espécies *Machaerium acutifolium* e *Agonandra brasiliensis*. Não foi encontrada qualquer correlação entre Ca e Mg no tronco.

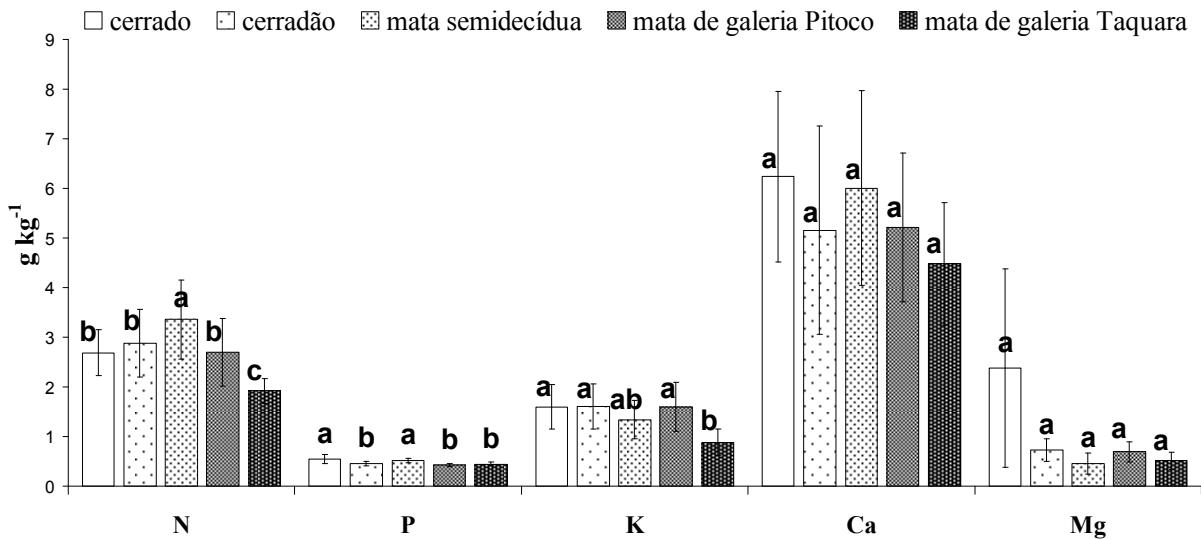


Figura 3.4 – Teores médios de N, P, K, Ca e Mg no tronco das plantas amostradas nas diferentes fitofisionomias estudadas, considerando-se todas as espécies amostradas. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Barras de erros representam desvios-padrão das médias.

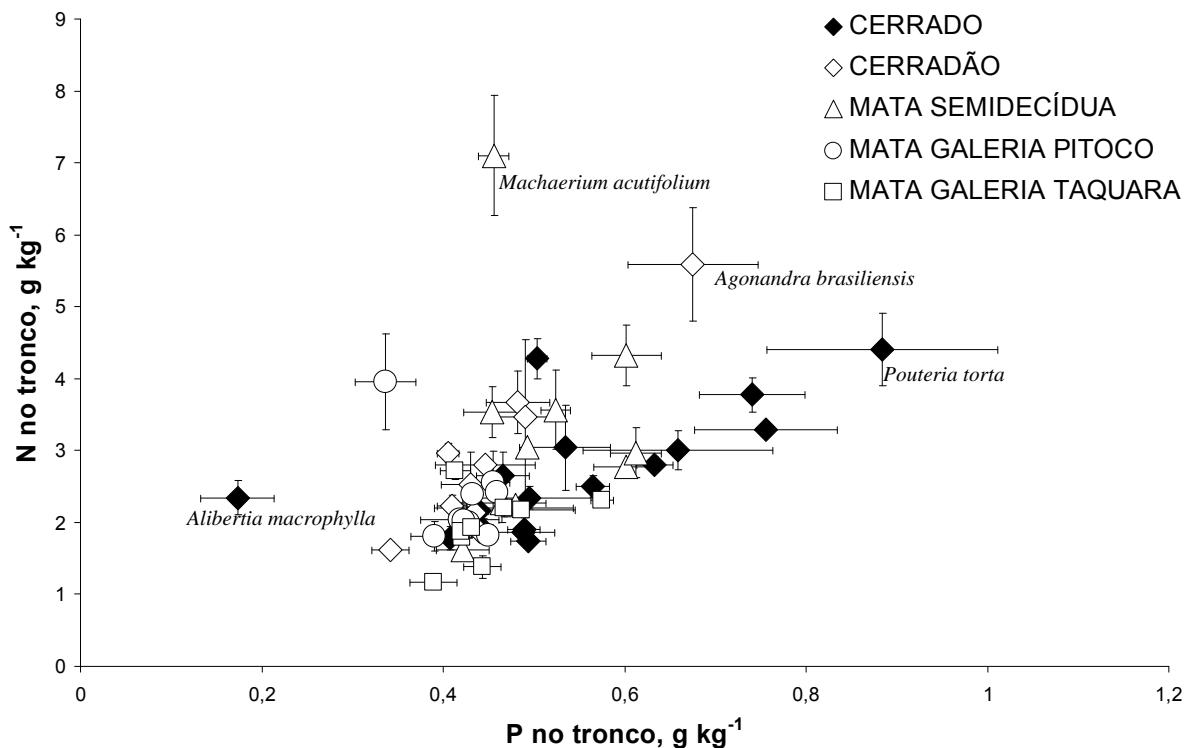


Figura 3.5 – Correlação entre concentrações de N e P no tronco de 17 espécies lenhosas encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado. Barras de erros representam os desvios-padrão das médias referentes a cada um dos eixos.

As análises de a área foliar específica (AFE) e da composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, das folhas também mostraram diferenças significativas entre os ecossistemas estudados (Figura 3.6). Os maiores valores de AFE, foram verificados na mata de galeria do Taquara, seguida por mata semidecídua, cerradão, mata de galeria do Pitoco e cerrado. Já os valores de $\delta^{13}\text{C}$, que retratam a eficiência no uso de água pelas plantas, foram mais negativos nas áreas de mata de galeria, enquanto cerrado, cerradão e mata semidecídua apresentaram valores semelhantes.

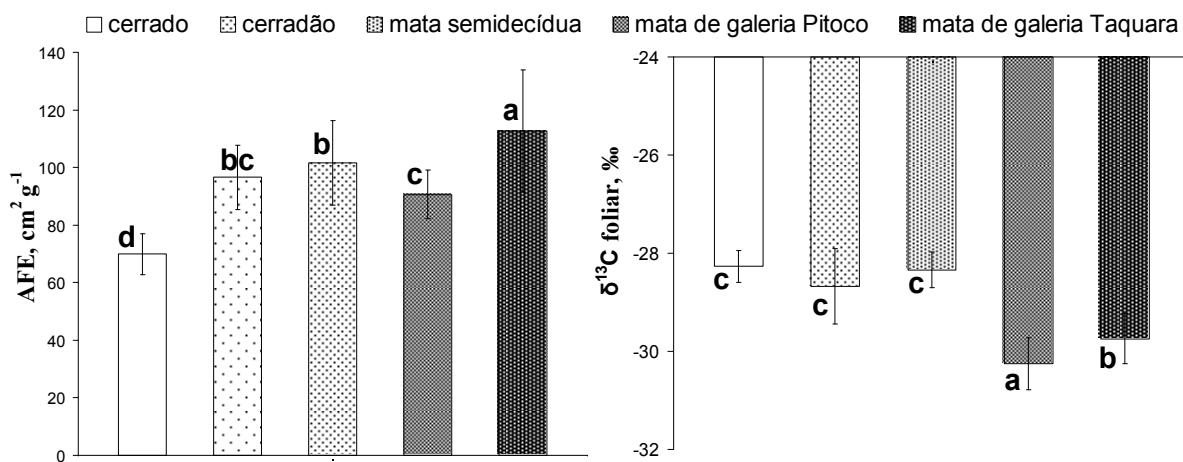


Figura 3.6 – Valores médios de área foliar específica (AFE) e da composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, foliar. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

Os valores da composição de isótopos, $\delta^{13}\text{C}$, no tronco das espécies avaliadas, mantiveram a mesma relação observadas no tecido das folhas, com valores significativamente menores (mais negativos) nas matas de galeria, representando uma menor eficiência no uso de água nesses ambientes (Figura 3.7). Já os valores de densidade da madeira variaram pouco quando consideradas todas as espécies das diferentes fisionomias, entretanto, foram mais elevados nas plantas amostradas no cerradão e mata semidecídua, enquanto cerrado e matas de galeria não diferiram quanto a esta característica.

Considerando-se todas as fitofisionomias, a área foliar específica apresentou uma fraca correlação negativa ($r^2=0,11$) com a composição de isótopos, $\delta^{13}\text{C}$, foliar e nenhuma correlação foi verificada entre AFE e o $\delta^{13}\text{C}$ do tecido do tronco. Apesar de ter sido verificada correlação positiva ($r^2=0,28$) entre o $\delta^{13}\text{C}$ foliar e do tronco (Figura 3.8). De um modo geral, os nutrientes foliares não mostraram uma forte correlação com os nutrientes do tronco

(Figura 3.9). Entre os macronutrientes, apenas N e P apresentaram coeficientes de correlação superiores 0,10 esboçando uma fraca correlação positiva. Houve, no entanto, uma forte correlação, também positiva, entre teor de Al nas folhas e troncos ($r^2=0,86$).

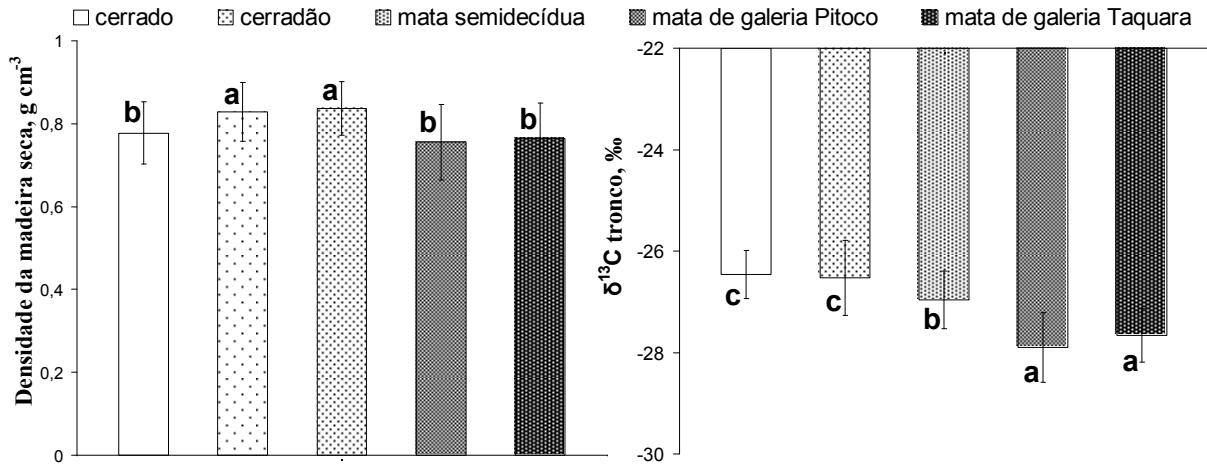


Figura 3.7 – Valores médios de densidade da madeira e da composição isotópica, $\delta^{13}\text{C}$, do tronco. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$). Barras de erros representam os desvios-padrão das médias.

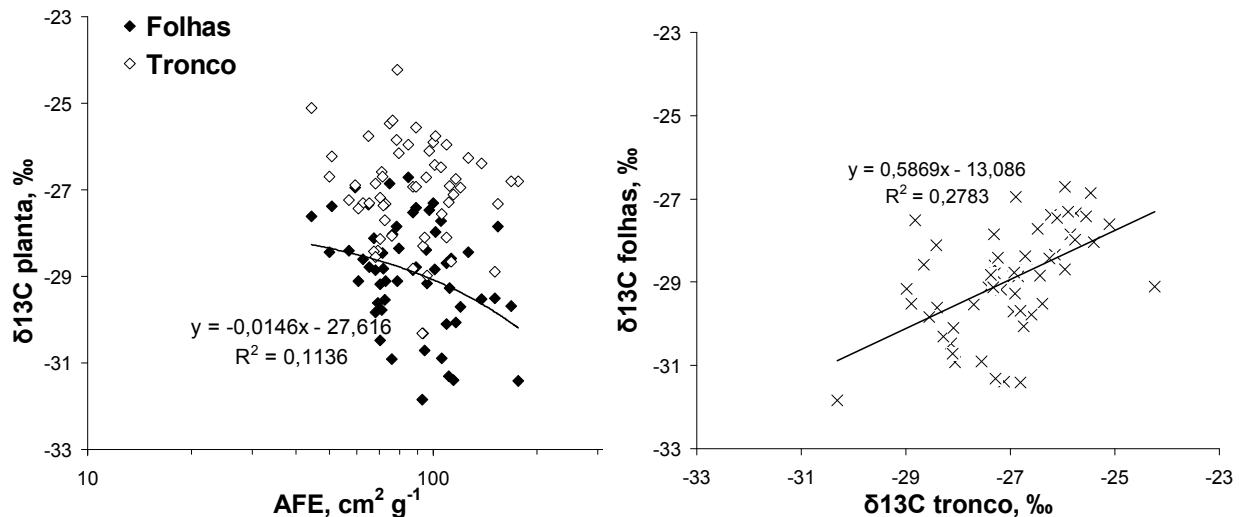


Figura 3.8 – Correlação entre área foliar específica (AFE) e $\delta^{13}\text{C}$ do tecido vegetal (tronco e folhas), e correlação entre $\delta^{13}\text{C}$ foliar e do tronco. Onde a curva de regressão em função de AFE representa correlação com folhas.

Quando correlacionados os nutrientes das folhas e troncos, com os valores de área foliar específica, apenas os elementos N ($r^2=0,23$) e P ($r^2=0,11$) nas folhas, apresentaram correlação. Os demais macronutrientes, e ainda, o teor de Al, tanto nas folhas quanto no tronco das espécies não apresentaram qualquer correlação com AFE (Figura 3.10).

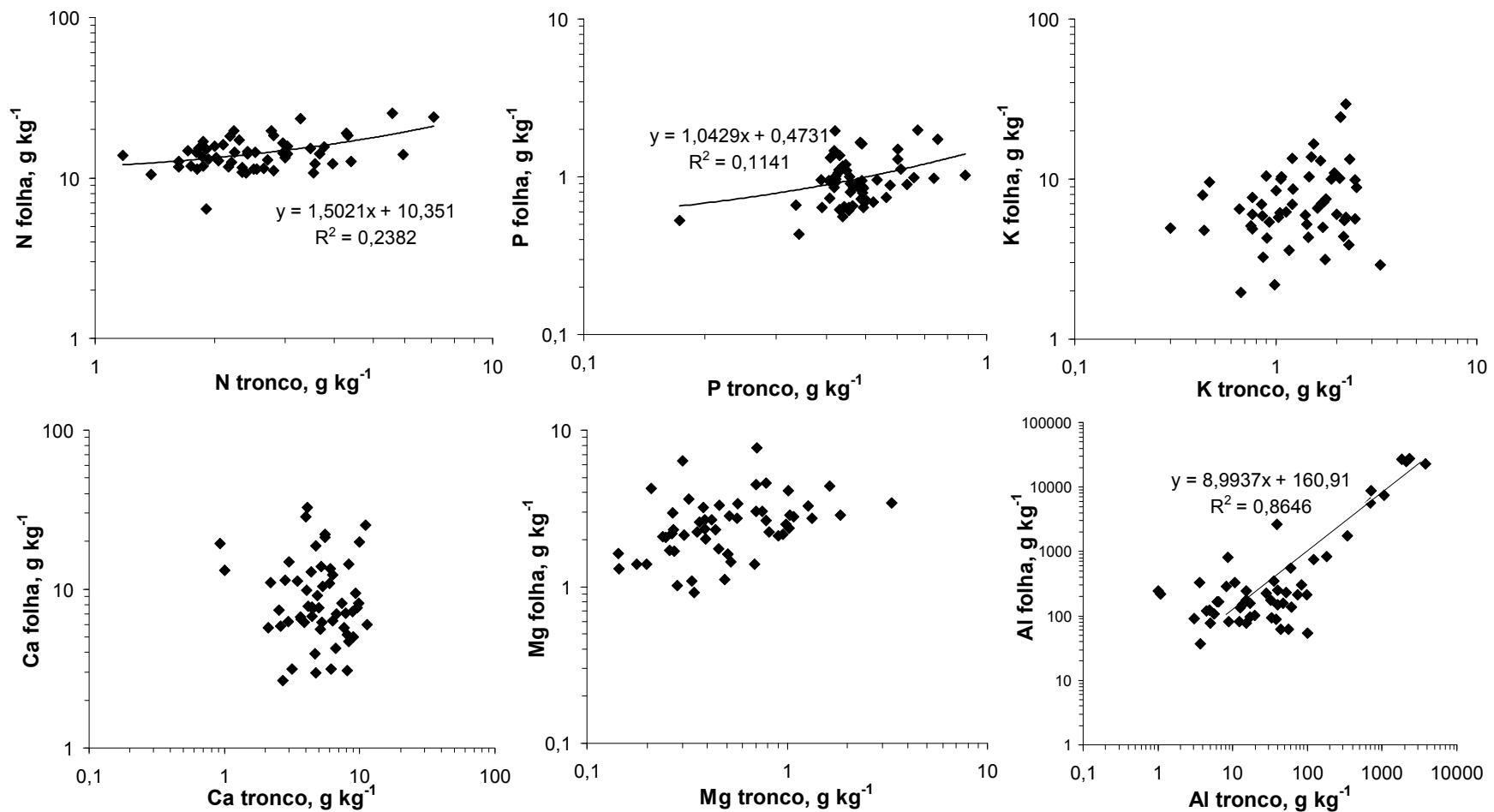


Figura 3.9 – Correlação entre nutrientes nos troncos e folhas, considerando-se valores médios das espécies amostradas em todas a fitofisionomias estudadas. Curvas de regressão representam correlações onde o coeficiente de determinação (r^2) foi superior a 0,1.

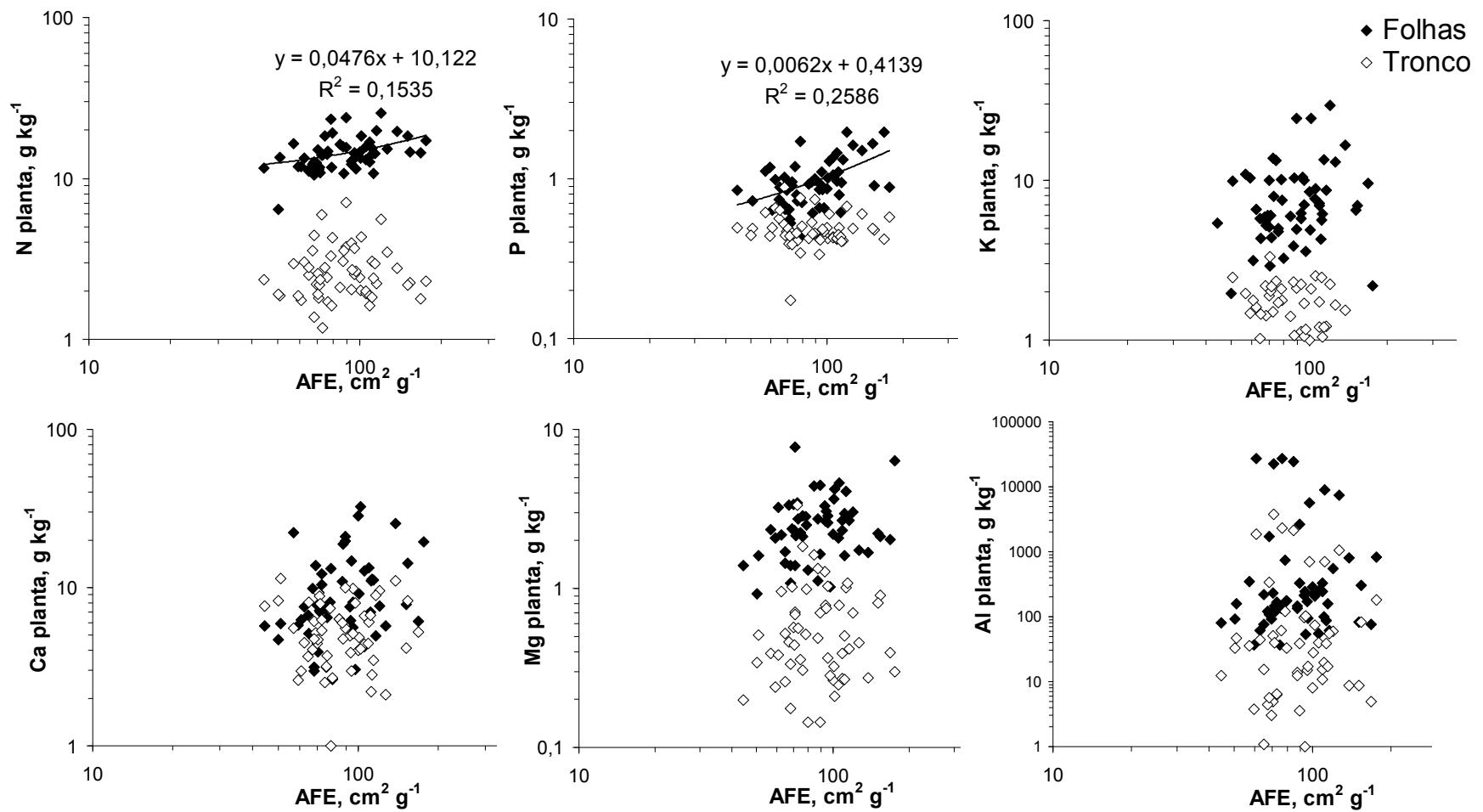


Figura 3.10 – Correlação entre nutrientes nas plantas (tronco e folhas) e área foliar específica (AFE) considerando-se valores médios das espécies amostradas em todas as fitofisionomias estudadas. Curvas de regressão representam correlações onde o coeficiente de determinação (r^2) foi superior a 0,1.

Conforme o esperado, com base na descrição dos solos feita no capítulo I, foram verificadas diferenças significativas entre os nutrientes dos solos das fitofisionomias aqui estudadas (Figura 3.11). O solo da mata semidecídua apresentou os valores mais elevados de N total, P, K, Ca, Mg e Zn disponíveis, além de um teor não detectável de Al disponível e de apresentar a menor acidez. Seguiram-se à mata semidecídua, os solos das matas de galeria, que apresentaram maiores teores de C orgânico e maior fertilidade do que os solos de cerrado e cerradão, fitosionomias onde os teores nutricionais foram sempre semelhantes. É interessante notar que as comunidades de plantas com maiores teores de nutrientes foliares (Figura 3.1 e 3.11) não corresponderam, aos ecossistemas com maior disponibilidade destes no solo. Como se observa nos valores de N, P e K, significativamente mais elevados nas folhas das plantas estabelecidas no cerradão. Apenas os teores de Ca, parecem ter correspondido às diferenças registradas nos solos, no entanto, o Ca foliar das espécies da mata semidecídua representa aproximadamente 2 vezes os valores encontrados nas demais fisionomias, enquanto na concentração de Ca disponível essa relação é de mais de 10 vezes.

Quando correlacionados os teores de nutrientes nas folhas e troncos, com a disponibilidade de nutrientes nos solos, apenas o elemento Ca, apresentou uma correlação positiva ($r^2 = 0,49$). Entretanto, essa relação, observada nas folhas não foi a mesma para os troncos (Figura 3.12). Essas correlações compreendem todas as espécies amostradas nos cinco diferentes ecossistemas estudados, e representam as mais fortes relações encontradas com o conjunto de dados obtido neste estudo. Não foram verificadas relações diferentes das aqui apresentadas, separando-se as espécies de acordo com a fitofisionomia de ocorrência (Tabela 3.1), ou distinguindo-as entre espécies florestais e características de cerrados.

A textura dos solos entre as fitosionomias estudadas foi muito diversa (Figura 3.13). Grandes variações também foram verificadas dentro de cada uma delas. Os solos sob cerrado, por exemplo, variaram de uma textura franco argilo arenosa até argilosa, aonde a maior parte dos locais de amostragem se enquadra. A mata de galeria do Pitoco apresentou uma variação textural semelhante à verificada nos solos sob cerrado, enquanto os solos do cerradão e da mata semidecídua são muito argilosos e os da mata de galeria do Taquara são em maior parte, franco arenosos (EMBRAPA 1999).

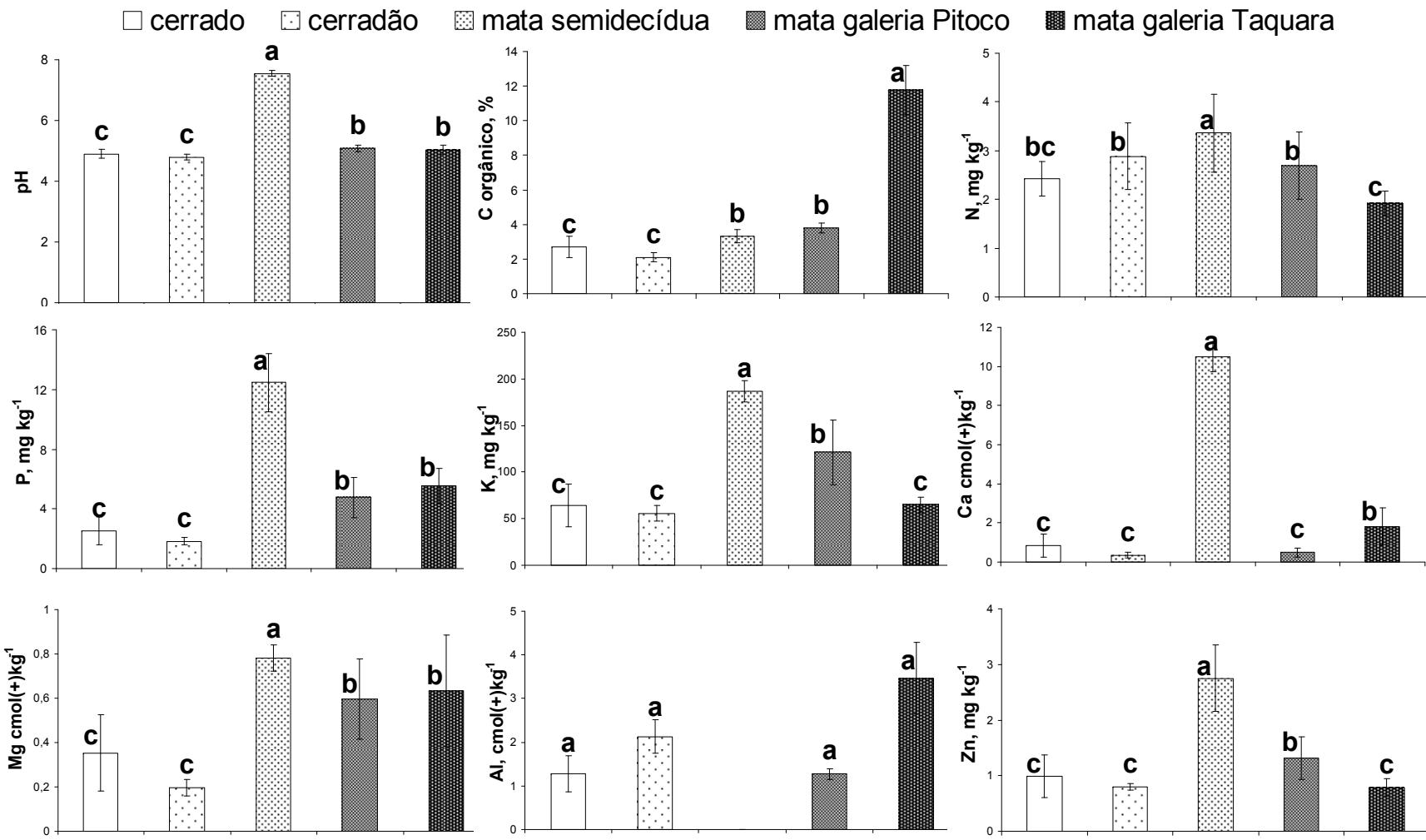


Figura 3.11- Valores médios de pH, C orgânico, N total, P, K, Ca, Mg, Al e Zn disponíveis no solo superficial (0-10 cm) das fitofisionomias estudadas. Letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p<0,05$) e barras de erro correspondem aos desvios-padrão das médias.

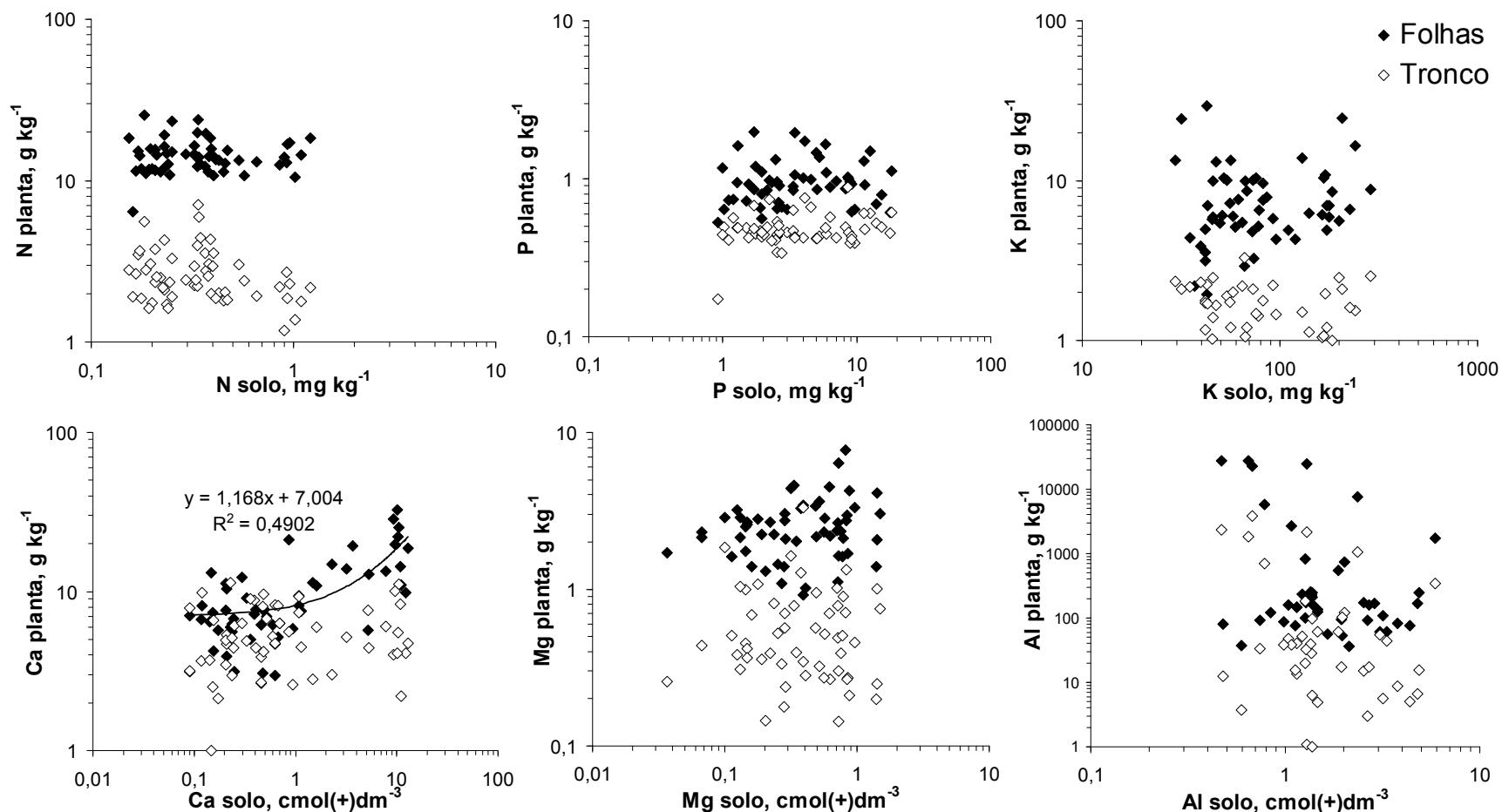


Figura 3.12 – Correlação entre nutrientes nas plantas (tronco e folhas) e nutrientes nos solos, considerando-se valores médios das espécies amostradas em todas as fitofisionomias estudadas. A curva de regressão representa correlações entre os teores de Ca no solo e nas folhas.

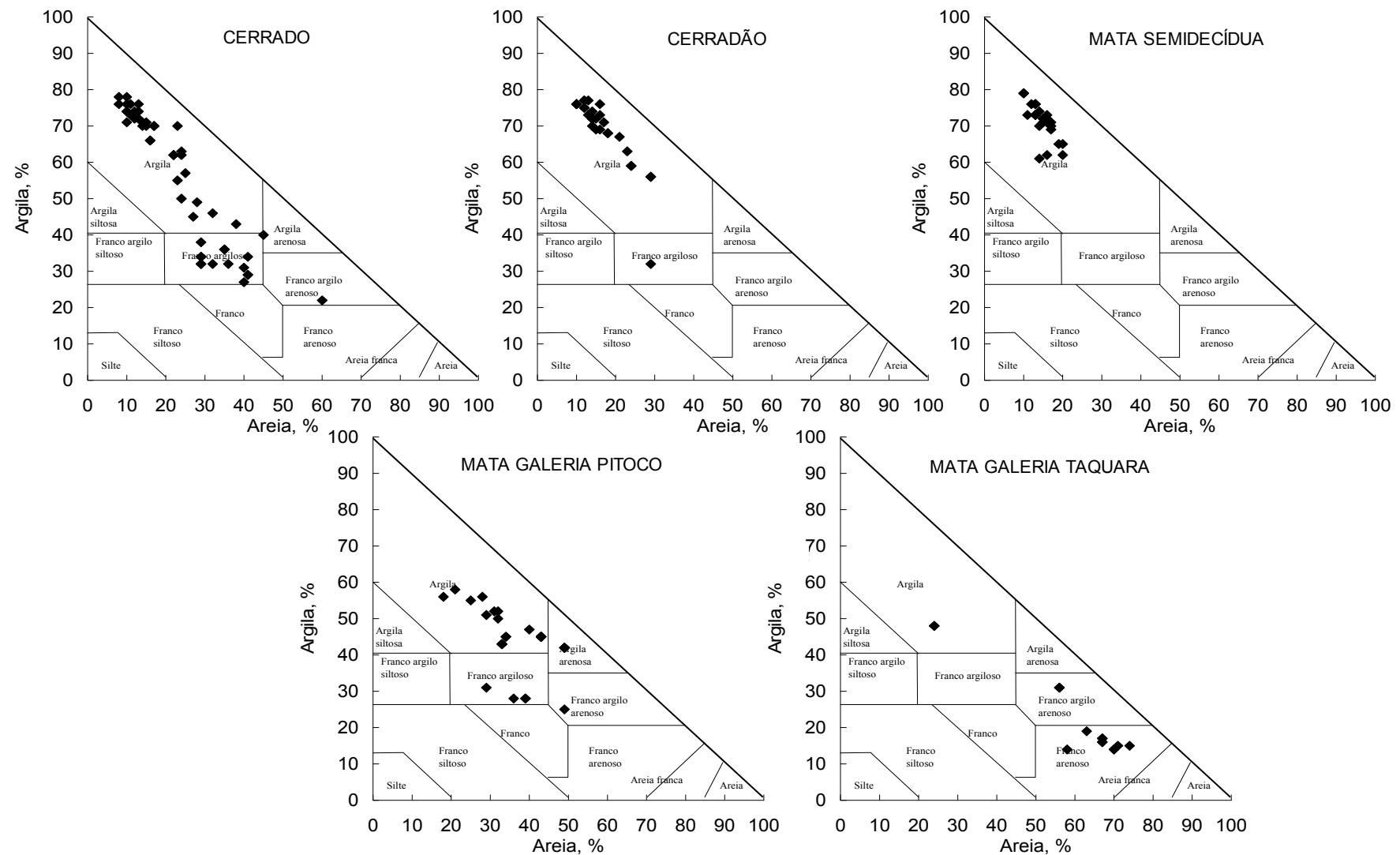


Figura 3.13 – Diagrama textural de classificação dos solos com base no percentual de argila e areia, de acordo com EMBRAPA (1999).

Comparando-se as plantas amostradas no cerrado, com as encontradas em cada uma das fisionomias florestais, tomadas apenas espécies comuns entre esses ambientes, verificou-se que as características foliares variaram mais do que as características do tronco. Estas últimas tenderam a apresentar poucas variações entre indivíduos no cerrado e nas florestas, tendo sido registradas, no entanto, diferenças significativas entre espécies (Tabela 3.2 a 3.5).

As concentrações de nutrientes foliares diferiram entre o cerrado e todos os ambientes florestais. Tanto macro quanto micronutrientes apresentaram maiores valores nas folhas das plantas estabelecidas nas florestas. Isso foi observado mesmo para as espécies amostradas no cerradão onde a disponibilidade de nutrientes nos solos não difere da medida no cerrado. Foram verificadas ainda, diferenças significativas entre as espécies analisadas em um mesmo ambiente. Alguns elementos como Al, Cu, Zn e Mn, tenderam a apresentar diferenças mais expressivas entre espécies do que entre os diferentes ambientes (Tabelas 3.2 e 3.3). O mesmo padrão se verifica para os metais, mensurados no tronco (Tabelas 3.4 e 3.5), onde foram raras as diferenças entre ecossistemas, enquanto em muitos casos foram observadas diferenças entre espécies. Além disso, em alguns nutrientes analisados foram registrados valores significativamente mais elevados nos troncos das plantas estabelecidas em áreas de cerrado. Como no caso de N, K, Ca e Na, mais elevados nas plantas que cresceram no cerrado comparadas às da mata de galeria do Taquara.

A área foliar específica apresentou diferenças altamente significativas entre as plantas do cerrado e todas as fitosionomias florestais. Contudo, também houve diferenças significativas entre as espécies avaliadas, independentemente do ambiente de amostragem (Tabelas 3.2 e 3.3). A eficiência no uso de água, estimada a partir da composição de isótopos de carbono, $\delta^{13}\text{C}$, nas folhas, não diferiu significativamente entre quaisquer das fisionomias florestais comparadas ao cerrado. Apesar disso, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foliar, foram sempre mais negativos nas plantas das áreas florestais, o que indica menor eficiência no uso de água nesses ecossistemas. Na mata de galeria do Pitoco, por exemplo, o valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ foliar foi de -30,3 ‰ contra -28,5 ‰ verificado para as mesmas espécies no cerrado. Na comparação entre esses dois ecossistemas verificou-se ainda, diferença significativa no $\delta^{13}\text{C}$ do tronco das espécies ali estabelecidas (Tabela 3.3).

Tabela 3.2 – Características foliares das espécies amostradas em áreas de cerrado e fitofisionomias florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Parâmetros	cerrado	cerradão	p	cerrado	mata semidecídua	p
AFE*, cm ² g ⁻¹	70,35 ± 18,58	96,57 ± 24,85	<<0,01	70,66 ± 17,55	101,60 ± 29,44	<<0,01
δ ¹³ C, ‰	-28,13 ± 0,87	-28,68 ± 1,65	0,08	-28,02 ± 0,73	-28,34 ± 0,87	0,06
N, g kg ⁻¹	12,29 ± 3,11	16,14 ± 4,31	<0,01	13,65 ± 4,81	15,72 ± 4,48	0,01
P, g kg ⁻¹	0,73 ± 0,20	1,15 ± 0,44	0,01	0,81 ± 0,34	0,97 ± 0,33	0,01
K, g kg ⁻¹	6,86 ± 6,32	11,87 ± 6,74	<0,01	7,05 ± 6,00	10,13 ± 7,00	<0,01
Ca, g kg ⁻¹	7,72 ± 6,45	7,60 ± 3,49	0,21	7,20 ± 6,15	19,57 ± 9,22	<<0,01
Mg, g kg ⁻¹	1,84 ± 1,11	2,70 ± 0,91	<0,01	2,00 ± 1,05	2,56 ± 0,94	<0,01
Al, g kg ⁻¹	3672,01 ± 8365,90	3346,47 ± 7681,97	0,36	3316,27 ± 7905,23	1174,34 ± 2638,89	0,06
Cu, g kg ⁻¹	8,64 ± 9,19	7,17 ± 3,24	0,62	12,24 ± 15,73	15,03 ± 17,53	0,27
Fe, g kg ⁻¹	146,61 ± 54,19	83,82 ± 57,80	0,01	177,73 ± 100,12	369,81 ± 210,22	<<0,01
Zn, g kg ⁻¹	17,46 ± 15,72	14,88 ± 5,43	0,12	14,36 ± 13,30	11,97 ± 5,17	0,38
Mn, g kg ⁻¹	195,98 ± 198,09	115,66 ± 119,52	0,04	183,93 ± 168,94	176,18 ± 184,45	0,82
B, g kg ⁻¹	60,01 ± 68,00	28,05 ± 11,87	0,01	47,80 ± 23,32	14,95 ± 12,04	<<0,01
S, g kg ⁻¹	1,05 ± 0,73	1,14 ± 0,30	0,08	1,14 ± 0,80	2,10 ± 1,02	<<0,01
Parâmetros	cerrado	mata galeria Pitoco	p	cerrado	mata galeria Taquara	p
AFE*, cm ² g ⁻¹	68,09 ± 11,06	90,65 ± 17,44	<<0,01	68,67 ± 12,26	111,13 ± 42,62	<<0,01
δ ¹³ C, ‰	-28,49 ± 0,98	-30,25 ± 1,27	0,09	-28,40 ± 1,00	-29,65 ± 1,31	0,17
N, g kg ⁻¹	12,91 ± 2,08	13,10 ± 2,12	0,35	14,10 ± 3,99	14,35 ± 2,88	0,35
P, g kg ⁻¹	0,79 ± 0,19	0,83 ± 0,21	0,52	0,87 ± 0,36	1,19 ± 0,46	0,01
K, g kg ⁻¹	5,85 ± 2,38	6,30 ± 3,14	0,44	6,65 ± 2,84	7,03 ± 3,20	0,46
Ca, g kg ⁻¹	6,37 ± 2,60	7,61 ± 3,25	0,04	7,07 ± 2,53	10,89 ± 5,72	0,04
Mg, g kg ⁻¹	1,92 ± 0,82	3,66 ± 2,72	<<0,01	2,06 ± 0,81	2,74 ± 1,45	0,02
Al, g kg ⁻¹	2854,4 ± 8296,97	2433,89 ± 7277,99	0,08	3234,12 ± 8682,79	354,03 ± 540,28	<0,01
Cu, g kg ⁻¹	8,92 ± 9,22	8,86 ± 7,11	0,97	14,16 ± 17,50	9,18 ± 8,22	0,54
Fe, g kg ⁻¹	154,11 ± 54,11	203,69 ± 59,50	0,01	193,34 ± 102,29	144,90 ± 101,16	<0,01
Zn, g kg ⁻¹	12,73 ± 9,43	20,37 ± 21,85	0,04	13,97 ± 10,07	10,35 ± 5,54	0,01
Mn, g kg ⁻¹	221,31 ± 205,56	455,11 ± 385,75	<<0,01	263,41 ± 204,42	137,59 ± 154,07	<0,01
B, g kg ⁻¹	59,39 ± 64,07	59,74 ± 41,24	0,43	67,75 ± 68,70	25,56 ± 16,53	<<0,01
S, g kg ⁻¹	1,17 ± 0,78	1,03 ± 0,20	0,60	1,10 ± 0,53	1,03 ± 0,22	0,43

* AFE – área foliara específica

Tabela 3.3 - Área foliar específica e teor de $\delta^{13}\text{C}$ e nutrientes foliares das espécies encontradas em diferentes fitofisionomias do Cerrado no Distrito Federal. Valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Espécies	AFE*, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$	$\delta^{13}\text{C}$, %	Concentração, foliar, g kg^{-1}						
			N	P	K	Ca	Mg	Al	
Cerrado									
<i>Aegiphila sellowiana</i>	78,39 \pm 12,88	-27,84 \pm 0,85	23,39 \pm 2,40	1,72 \pm 0,11	10,09 \pm 2,09	8,14 \pm 1,07	2,84 \pm 0,32	747 \pm 293	
<i>Agonandra brasiliensis</i>	89,30 \pm 10,34	-27,42 \pm 0,41	15,64 \pm 2,84	0,98 \pm 0,03	24,35 \pm 0,74	21,08 \pm 14,75	4,47 \pm 0,57	2650 \pm 2897	
<i>Albertia macrophylla</i>	71,76 \pm 9,27	-28,82 \pm 0,61	10,85 \pm 2,18	0,53 \pm 0,05	4,38 \pm 1,29	7,03 \pm 3,10	2,15 \pm 0,33	122 \pm 9	
<i>Copaifera langsdorffii</i>	87,18 \pm 11,20	-28,86 \pm 1,78	15,78 \pm 1,56	0,95 \pm 0,05	3,87 \pm 0,72	10,91 \pm 2,23	1,11 \pm 0,45	148 \pm 43	
<i>Erythroxylum daphnites</i>	65,13 \pm 3,75	-28,79 \pm 0,64	11,10 \pm 1,07	0,89 \pm 0,16	4,31 \pm 0,76	5,15 \pm 1,01	1,44 \pm 0,49	77 \pm 23	
<i>Kielmeyera coriacea</i>	50,17 \pm 9,97	-28,44 \pm 0,36	6,41 \pm 2,45	0,42 \pm 0,20	1,95 \pm 1,17	4,69 \pm 0,52	0,92 \pm 0,44	93 \pm 18	
<i>Machaerium acutifolium</i>	79,67 \pm 17,59	-28,34 \pm 1,06	19,09 \pm 6,23	0,71 \pm 0,11	3,26 \pm 1,95	2,65 \pm 1,81	1,31 \pm 0,42	175 \pm 182	
<i>Myrcia tomentosa</i>	71,23 \pm 12,30	-28,46 \pm 0,58	11,75 \pm 1,05	0,56 \pm 0,05	6,00 \pm 0,48	7,18 \pm 2,48	1,40 \pm 0,54	148 \pm 26	
<i>Ouratea castaneifolia</i>	62,57 \pm 8,79	-28,60 \pm 0,53	13,36 \pm 0,50	0,99 \pm 0,17	6,60 \pm 0,58	7,57 \pm 2,45	2,17 \pm 0,14	62 \pm 26	
<i>Piptocarpha macropoda</i>	70,37 \pm 3,93	-29,18 \pm 0,51	15,03 \pm 2,19	0,94 \pm 0,02	10,05 \pm 1,51	3,92 \pm 0,52	2,32 \pm 0,32	232 \pm 35	
<i>Pouteria torta</i> var. <i>glabra</i>	68,04 \pm 12,74	-28,86 \pm 1,57	12,68 \pm 1,39	1,02 \pm 0,16	5,49 \pm 1,49	2,97 \pm 0,79	1,09 \pm 0,39	107 \pm 6	
<i>Qualea grandiflora</i>	97,31 \pm 10,71	-27,46 \pm 0,74	11,41 \pm 0,64	0,66 \pm 0,06	3,58 \pm 0,62	3,05 \pm 1,12	1,02 \pm 0,08	5730 \pm 2996	
<i>Schefflera morototoni</i>	50,86 \pm 4,88	-27,37 \pm 0,74	13,51 \pm 2,72	0,73 \pm 0,10	9,93 \pm 1,51	5,95 \pm 1,96	1,61 \pm 0,51	160 \pm 51	
<i>Symplocos mosenii</i>	60,85 \pm 5,91	-29,11 \pm 0,82	11,90 \pm 0,85	0,64 \pm 0,04	3,16 \pm 0,49	6,25 \pm 0,51	3,22 \pm 1,33	27271 \pm 2119	
<i>Tabebuia serratifolia</i>	44,35 \pm 0,10	-27,61 \pm 0,34	11,64 \pm 1,48	0,85 \pm 0,12	5,41 \pm 1,59	5,71 \pm 1,32	1,39 \pm 0,07	81 \pm 6	
<i>Terminalia glabrescens</i>	64,84 \pm 4,57	-27,34 \pm 0,76	11,33 \pm 0,58	0,74 \pm 0,02	5,75 \pm 1,57	6,70 \pm 2,97	1,71 \pm 0,37	218 \pm 14	
<i>Vochysia tucanorum</i>	76,21 \pm 5,92	-28,03 \pm 0,32	14,77 \pm 0,67	0,73 \pm 0,04	4,78 \pm 0,50	6,48 \pm 1,64	2,88 \pm 0,34	27512 \pm 2092	
p	<<0,01	0,16	0,01	0,18	<0,01	0,39	0,01	<<0,01	
Cerradão									
<i>Agonandra brasiliensis</i>	119,98 \pm 9,95	-29,71 \pm 1,08	25,34 \pm 0,14	1,97 \pm 0,15	29,36 \pm 0,58	7,62 \pm 1,32	3,02 \pm 0,33	551 \pm 98	
<i>Albertia macrophylla</i>	114,27 \pm 27,88	-31,39 \pm 0,81	14,33 \pm 0,97	0,95 \pm 0,28	13,47 \pm 2,20	11,24 \pm 7,21	2,82 \pm 1,03	160 \pm 61	
<i>Copaifera langsdorffii</i>	116,02 \pm 23,63	-30,06 \pm 0,27	19,75 \pm 4,73	1,32 \pm 0,09	8,64 \pm 2,41	4,98 \pm 1,94	2,68 \pm 0,49	62 \pm 55	
<i>Erythroxylum daphnites</i>	95,79 \pm 9,49	-29,16 \pm 0,87	14,19 \pm 1,33	0,86 \pm 0,16	7,02 \pm 1,17	5,61 \pm 2,11	2,60 \pm 0,38	95 \pm 146	
<i>Kielmeyera coriacea</i>	59,43 \pm 7,69	-26,94 \pm 1,15	11,81 \pm 2,07	1,17 \pm 0,30	10,39 \pm 1,13	5,82 \pm 0,69	2,09 \pm 0,28	37 \pm 25	
<i>Myrcia tomentosa</i>	95,60 \pm 15,63	-28,38 \pm 0,75	14,49 \pm 1,26	1,11 \pm 0,07	9,96 \pm 2,58	8,12 \pm 1,49	2,87 \pm 0,34	174 \pm 224	
<i>Qualea grandiflora</i>	126,57 \pm 14,95	-28,43 \pm 1,22	15,25 \pm 1,42	1,62 \pm 0,23	13,06 \pm 2,70	5,71 \pm 2,36	1,75 \pm 0,07	7519 \pm 1460	
<i>Schefflera morototoni</i>	78,72 \pm 10,01	-29,11 \pm 0,11	11,67 \pm 2,00	0,43 \pm 0,09	7,53 \pm 2,00	13,17 \pm 3,00	2,51 \pm 1,00	170 \pm 18	
<i>Tabebuia serratifolia</i>	74,70 \pm 11,34	-26,85 \pm 0,14	18,37 \pm 0,55	1,20 \pm 0,18	13,38 \pm 4,23	7,39 \pm 1,25	2,23 \pm 0,03	37 \pm 19	
<i>Vochysia tucanorum</i>	84,58 \pm 3,07	-26,72 \pm 1,40	16,19 \pm 2,04	0,92 \pm 0,14	5,93 \pm 0,62	6,33 \pm 0,67	4,41 \pm 1,51	24660 \pm 4883	
p	<0,01	0,11	0,01	0,15	<0,01	0,34	0,01	<0,01	

* AFE – área foliada específica

..Continuação

Tabela 3.3 - Continuação

Espécies	AFE*, cm ² g ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	Concentração, foliar, g kg ⁻¹								
			N	P	K	Ca	Mg	Al			
Mata semidecídua											
<i>Aegiphila sellowiana</i>	137,89 ± 13,21	-29,52 ± 0,19	19,57 ± 3,51	1,50 ± 0,21	16,58 ± 1,00	25,38 ± 2,45	1,69 ± 0,21	816 ± 217			
<i>Agonandra brasiliensis</i>	101,77 ± 9,12	-27,98 ± 0,51	18,45 ± 1,84	1,29 ± 0,44	24,53 ± 1,34	32,45 ± 11,89	4,24 ± 0,86	210 ± 42			
<i>Alibertia macrophylla</i>	87,53 ± 8,98	-27,51 ± 1,15	10,71 ± 0,94	0,61 ± 0,12	10,39 ± 3,38	18,77 ± 6,69	2,73 ± 0,53	133 ± 32			
<i>Kielmeyera coriacea</i>	109,32 ± 11,23	-28,69 ± 0,84	12,69 ± 7,12	0,96 ± 0,53	6,96 ± 3,85	13,37 ± 3,94	2,32 ± 0,54	329 ± 104			
<i>Machaerium acutifolium</i>	89,35 ± 10,00	-28,78 ± 0,76	23,88 ± 1,76	1,00 ± 0,04	4,92 ± 0,67	19,77 ± 6,31	1,64 ± 0,22	328 ± 145			
<i>Myrcia tomentosa</i>	153,90 ± 10,77	-27,85 ± 0,48	14,52 ± 1,59	0,91 ± 0,10	6,98 ± 1,97	14,35 ± 1,54	2,12 ± 0,22	305 ± 40			
<i>Ouratea castaneifolia</i>	67,34 ± 11,21	-28,11 ± 0,22	12,24 ± 1,75	0,69 ± 0,02	5,91 ± 1,93	9,88 ± 2,06	3,33 ± 0,34	120 ± 43			
<i>Qualea grandiflora</i>	111,57 ± 9,76	-29,27 ± 0,07	14,13 ± 0,57	0,79 ± 0,05	5,61 ± 0,87	10,99 ± 4,49	2,96 ± 1,58	8868 ± 1312			
<i>Tabebuia serratifolia</i>	57,13 ± 7,21	-28,41 ± 0,63	16,48 ± 1,76	1,11 ± 0,11	10,88 ± 0,43	22,21 ± 11,86	2,35 ± 0,51	349 ± 65			
<i>Terminalia glabrescens</i>	100,22 ± 17,80	-27,30 ± 0,54	14,57 ± 0,49	0,87 ± 0,05	8,52 ± 1,55	28,56 ± 6,04	2,20 ± 0,06	285 ± 35			
p	0,01	0,11	<0,01	0,01	<0,01	0,06	0,03	<<0,01			
Mata de galeria – Pitoco											
<i>Alibertia macrophylla</i>	112,86 ± 15,28	-28,58 ± 0,16	10,74 ± 1,32	0,62 ± 0,04	6,13 ± 2,16	11,31 ± 4,69	4,10 ± 0,48	88 ± 7			
<i>Copaifera langsdorffii</i>	110,99 ± 10,12	-31,31 ± 1,74	15,33 ± 1,21	1,10 ± 0,02	4,30 ± 0,29	6,97 ± 1,80	1,61 ± 0,20	101 ± 2			
<i>Erythroxylum daphnites</i>	93,13 ± 11,99	-31,84 ± 0,93	12,31 ± 1,93	0,66 ± 0,16	5,79 ± 1,88	7,58 ± 2,44	3,29 ± 0,55	212 ± 26			
<i>Myrcia tomentosa</i>	93,35 ± 10,51	-30,31 ± 0,26	12,74 ± 0,90	0,86 ± 0,11	6,26 ± 0,66	6,17 ± 0,94	2,65 ± 0,31	245 ± 78			
<i>Ouratea castaneifolia</i>	70,23 ± 14,51	-30,48 ± 1,57	11,29 ± 1,31	0,64 ± 0,13	5,10 ± 1,02	7,71 ± 0,99	3,39 ± 0,46	124 ± 30			
<i>Piptocarpha macropoda</i>	105,70 ± 7,34	-30,90 ± 1,15	15,71 ± 2,00	1,06 ± 0,05	8,84 ± 0,94	4,24 ± 1,04	4,59 ± 0,60	254 ± 47			
<i>Pouteria torta</i> var. <i>glabra</i>	75,89 ± 10,26	-30,91 ± 0,05	14,17 ± 0,81	0,80 ± 0,19	4,98 ± 0,41	3,14 ± 0,97	2,13 ± 0,24	136 ± 29			
<i>Schefflera morototoni</i>	72,63 ± 8,29	-29,54 ± 0,37	13,97 ± 2,08	0,90 ± 0,09	13,78 ± 0,07	10,42 ± 0,68	3,44 ± 0,16	165 ± 72			
<i>Symplocos mosenii</i>	70,81 ± 11,24	-29,78 ± 0,55	11,35 ± 1,25	0,64 ± 0,06	2,91 ± 1,52	9,40 ± 4,50	7,73 ± 7,96	22788 ± 7341			
<i>Terminalia glabrescens</i>	100,89 ± 19,32	-28,84 ± 0,87	13,38 ± 2,06	1,01 ± 0,21	4,91 ± 0,27	9,15 ± 1,57	3,64 ± 1,03	228 ± 48			
p	<<0,01	0,09	0,01	0,08	<0,01	0,01	0,01	0,08			
Mata de galeria – Taquara											
<i>Aegiphila sellowiana</i>	175,99 ± 7,90	-31,41 ± 0,33	17,14 ± 0,21	0,88 ± 0,12	2,18 ± 0,06	19,42 ± 2,00	6,35 ± 0,05	831 ± 100			
<i>Alibertia macrophylla</i>	94,23 ± 10,43	-30,71 ± 0,58	12,94 ± 2,88	0,93 ± 0,35	10,42 ± 5,71	14,78 ± 4,83	3,05 ± 0,61	54 ± 32			
<i>Copaifera langsdorffii</i>	151,09 ± 4,41	-29,51 ± 0,76	18,30 ± 0,10	1,65 ± 0,54	6,54 ± 0,64	7,81 ± 2,52	2,23 ± 0,07	82 ± 51			
<i>Myrcia tomentosa</i>	168,51 ± 44,22	-29,69 ± 0,91	14,48 ± 1,93	1,96 ± 0,30	9,62 ± 1,85	6,14 ± 1,38	2,02 ± 0,70	77 ± 13			
<i>Ouratea castaneifolia</i>	69,29 ± 3,62	-29,61 ± 1,29	12,57 ± 1,16	0,85 ± 0,07	6,03 ± 1,48	13,85 ± 2,83	2,38 ± 0,58	92 ± 22			
<i>Piptocarpha macropoda</i>	109,29 ± 17,06	-30,10 ± 0,21	16,84 ± 3,79	1,46 ± 0,08	7,19 ± 2,90	6,74 ± 2,52	2,67 ± 0,78	247 ± 121			
<i>Schefflera morototoni</i>	72,93 ± 10,37	-29,12 ± 1,62	13,90 ± 1,92	0,96 ± 0,16	7,92 ± 3,71	12,27 ± 6,84	2,73 ± 1,32	167 ± 80			
<i>Symplocos mosenii</i>	68,18 ± 10,06	-29,84 ± 0,31	10,45 ± 0,99	0,65 ± 0,01	5,20 ± 0,81	3,13 ± 0,31	1,39 ± 0,19	1742 ± 292			
<i>Terminalia glabrescens</i>	105,35 ± 12,11	-27,72 ± 1,11	13,10 ± 1,44	1,37 ± 0,17	7,64 ± 1,49	12,81 ± 3,44	2,07 ± 0,43	56 ± 18			
p	0,01	0,95	0,02	0,07	0,20	0,31	0,08	<<0,01			

* AFE – área foliara específica

Tabela 3.4 - Características do tronco das espécies amostradas em áreas de cerrado e fitofisionomias florestais, onde os valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Parâmetros	cerrado	cerradão	p	cerrado	mata semidecídua	p
Densidade verde, g.cm ⁻³	1,22 ± 0,16	1,33 ± 0,11	0,01	1,25 ± 0,13	1,25 ± 0,13	0,91
Densidade seca, g cm ⁻³	0,81 ± 0,15	0,83 ± 0,14	0,28	0,80 ± 0,17	0,84 ± 0,13	0,37
$\delta^{13}\text{C}$, ‰	-26,34 ± 0,90	-26,53 ± 1,49	0,13	-26,19 ± 0,81	-26,96 ± 1,13	0,10
N, g kg ⁻¹	2,46 ± 0,75	2,89 ± 1,36	0,07	2,70 ± 0,84	3,36 ± 1,60	0,03
P, g kg ⁻¹	0,48 ± 0,16	0,45 ± 0,10	0,59	0,51 ± 0,18	0,51 ± 0,08	0,51
K, g kg ⁻¹	1,57 ± 1,06	1,61 ± 0,91	0,35	1,40 ± 0,82	1,33 ± 0,77	0,57
Ca, g kg ⁻¹	7,54 ± 3,59	5,15 ± 4,20	0,03	6,29 ± 3,57	6,01 ± 3,92	0,59
Mg, g kg ⁻¹	3,74 ± 17,05	0,73 ± 0,46	0,83	3,35 ± 16,03	0,45 ± 0,42	0,21
Al, g kg ⁻¹	323,56 ± 747,09	336,17 ± 719,61	0,84	296,62 ± 704,73	94,72 ± 225,93	0,73
Cu, g kg ⁻¹	4,06 ± 5,40	2,24 ± 1,63	0,08	11,33 ± 27,76	8,77 ± 17,02	0,71
Fe, g kg ⁻¹	76,21 ± 102,77	60,68 ± 50,04	0,01	124,17 ± 170,16	45,16 ± 35,79	0,79
Zn, g kg ⁻¹	9,37 ± 32,33	4,57 ± 5,13	0,17	14,15 ± 41,25	3,04 ± 4,64	0,13
Mn, g kg ⁻¹	118,90 ± 316,76	125,50 ± 331,52	0,66	120,23 ± 297,46	207,28 ± 677,40	0,54
Na, g kg ⁻¹	84,78 ± 57,35	87,48 ± 65,68	0,65	84,88 ± 62,24	70,96 ± 23,01	0,47
B, g kg ⁻¹	107,44 ± 43,90	115,68 ± 15,73	0,36	107,28 ± 42,18	119,43 ± 25,89	0,15
S, g.kg ⁻¹	0,18 ± 0,13	0,21 ± 0,12	0,07	0,23 ± 0,20	0,37 ± 0,20	0,05
Parâmetros	cerrado	mata galeria Pitoco	p	cerrado	mata galeria Taquara	p
Densidade verde, g.cm ⁻³	1,21 ± 0,12	1,29 ± 0,08	0,04	1,20 ± 0,11	1,24 ± 0,16	0,12
Densidade seca, g cm ⁻³	0,79 ± 0,14	0,76 ± 0,18	0,08	0,76 ± 0,17	0,76 ± 0,17	0,17
$\delta^{13}\text{C}$, ‰	-26,90 ± 0,97	-27,90 ± 1,37	0,05	-26,75 ± 0,81	-27,66 ± 1,08	0,08
N, g kg ⁻¹	2,58 ± 0,90	2,69 ± 1,39	0,40	2,43 ± 0,70	1,92 ± 0,50	<0,01
P, g kg ⁻¹	0,54 ± 0,19	0,43 ± 0,06	0,09	0,51 ± 0,18	0,45 ± 0,08	0,50
K, g kg ⁻¹	1,89 ± 0,90	3,03 ± 4,59	0,79	1,93 ± 0,86	0,88 ± 0,53	0,05
Ca, g kg ⁻¹	6,27 ± 3,07	5,21 ± 3,06	0,22	6,36 ± 3,10	4,48 ± 2,46	0,04
Mg, g kg ⁻¹	3,64 ± 16,26	0,96 ± 0,93	0,28	4,01 ± 17,99	0,51 ± 0,35	0,09
Al, g kg ⁻¹	206,40 ± 856,06	408,40 ± 1241,93	0,12	240,33 ± 604,75	68,62 ± 117,20	0,19
Cu, g kg ⁻¹	2,66 ± 2,95	3,04 ± 2,94	0,52	11,89 ± 30,94	25,61 ± 43,37	0,12
Fe, g kg ⁻¹	69,62 ± 106,50	48,05 ± 58,88	0,11	128,95 ± 170,26	57,31 ± 42,52	0,05
Zn, g kg ⁻¹	16,93 ± 41,46	7,67 ± 9,64	0,17	19,29 ± 45,54	3,20 ± 3,41	0,07
Mn, g kg ⁻¹	267,06 ± 560,99	253,77 ± 484,42	0,66	296,86 ± 609,96	101,15 ± 238,18	0,09
Na, g kg ⁻¹	111,97 ± 78,47	33,42 ± 109,56	0,06	95,41 ± 67,49	55,26 ± 25,00	0,01
B, g kg ⁻¹	113,17 ± 44,40	96,81 ± 47,28	0,23	111,16 ± 48,42	121,38 ± 25,19	0,35
S, g.kg ⁻¹	0,27 ± 0,23	0,20 ± 0,12	0,15	0,24 ± 0,20	0,17 ± 0,12	0,09

Tabela 3.5 - Densidade da madeira, teor de $\delta^{13}\text{C}$ e nutrientes no tronco das espécies encontradas em diferentes fitofisionomias do cerrado no Distrito Federal. Valores correspondem à média e desvio-padrão respectivamente.

Espécies	Dv*, g cm ⁻³	Ds**, g cm ⁻³	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	Concentração no tronco, g kg ⁻¹							
				N, g kg ⁻¹	P, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹	Ca, g kg ⁻¹	Mg, g kg ⁻¹	Al, g kg ⁻¹		
Cerrado											
<i>Aegiphila sellowiana</i>	1,23 ± 0,05	0,49 ± 0,02	-25,85 ± 0,31	3,29 ± 0,19	0,76 ± 0,16	2,09 ± 0,52	7,4 ± 1,2	0,51 ± 0,27	120 ± 67		
<i>Agonandra brasiliensis</i>	1,26 ± 0,04	0,85 ± 0,05	-25,56 ± 0,62	3,77 ± 0,48	0,74 ± 0,12	2,11 ± 1,06	5,6 ± 3,8	0,70 ± 0,19	39 ± 7		
<i>Alibertia macrophylla</i>	1,09 ± 0,03	0,94 ± 0,16	-27,37 ± 0,41	2,34 ± 0,48	0,17 ± 0,08	2,17 ± 0,15	7,9 ± 0,5	0,32 ± 0,54	0 ± 0		
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1,23 ± 0,06	0,83 ± 0,03	-26,94 ± 0,93	3,04 ± 1,17	0,53 ± 0,10	2,32 ± 2,12	6,0 ± 3,4	0,49 ± 0,30	14 ± 21		
<i>Erythroxylum daphnites</i>	1,13 ± 0,14	0,75 ± 0,10	-27,30 ± 1,00	2,81 ± 0,20	0,63 ± 0,04	1,45 ± 0,45	8,1 ± 1,3	0,52 ± 0,05	15 ± 10		
<i>Kielmeyera coriacea</i>	1,03 ± 0,12	0,66 ± 0,15	-26,69 ± 0,31	1,90 ± 0,30	0,44 ± 0,03	0,67 ± 0,13	8,3 ± 7,0	0,34 ± 0,19	33 ± 30		
<i>Machaerium acutifolium</i>	1,23 ± 0,01	0,86 ± 0,02	-26,16 ± 0,34	4,28 ± 0,56	0,50 ± 0,02	0,86 ± 0,06	2,7 ± 1,4	0,14 ± 0,02	33 ± 33		
<i>Myrcia tomentosa</i>	1,37 ± 0,03	0,94 ± 0,02	-26,69 ± 0,21	2,17 ± 0,44	0,44 ± 0,02	2,01 ± 1,35	8,8 ± 1,4	0,69 ± 0,27	40 ± 80		
<i>Ouratea castaneifolia</i>	1,31 ± 0,04	0,74 ± 0,05	-27,30 ± 0,32	3,01 ± 0,55	0,66 ± 0,21	1,61 ± 0,27	4,5 ± 2,4	0,95 ± 0,47	44 ± 54		
<i>Piptocarpha macropoda</i>	1,18 ± 0,03	0,77 ± 0,04	-27,18 ± 0,29	1,90 ± 0,33	0,49 ± 0,04	1,89 ± 0,59	4,7 ± 1,3	0,44 ± 0,10	51 ± 28		
<i>Pouteria torta</i> var. <i>glabra</i>	1,33 ± 0,03	0,79 ± 0,03	-26,85 ± 1,87	4,41 ± 1,01	0,88 ± 0,26	2,18 ± 0,43	4,7 ± 2,0	0,33 ± 0,12	6 ± 10		
<i>Qualea grandiflora</i>	1,34 ± 0,10	0,88 ± 0,08	-26,11 ± 0,37	2,65 ± 0,64	0,47 ± 0,06	1,16 ± 0,94	8,0 ± 6,3	0,28 ± 0,21	696 ± 233		
<i>Schefflera morototoni</i>	1,02 ± 0,05	0,60 ± 0,04	-26,22 ± 0,61	1,86 ± 0,16	0,49 ± 0,07	2,47 ± 0,21	11,4 ± 1,7	0,51 ± 0,21	47 ± 58		
<i>Symplocos mosenii</i>	1,20 ± 0,04	0,60 ± 0,02	-27,42 ± 0,90	1,74 ± 0,17	0,49 ± 0,04	1,77 ± 0,59	3,0 ± 0,6	0,38 ± 0,12	1845 ± 612		
<i>Tabebuia serratifolia</i>	1,40 ± 0,05	0,98 ± 0,03	-25,10 ± 0,23	2,34 ± 0,31	0,49 ± 0,15	0,93 ± 0,42	7,6 ± 1,2	0,20 ± 0,09	12 ± 11		
<i>Terminalia glabrescens</i>	1,21 ± 0,02	0,92 ± 0,05	-25,75 ± 0,90	2,50 ± 0,30	0,56 ± 0,04	1,03 ± 0,05	3,7 ± 3,0	0,26 ± 0,08	1 ± 2		
<i>Vochysia tucanorum</i>	1,38 ± 0,05	0,63 ± 0,06	-25,40 ± 0,36	1,71 ± 0,22	0,41 ± 0,01	0,44 ± 0,06	3,7 ± 2,3	1,85 ± 0,36	2338 ± 811		
p	0,01	0,28	0,71	<0,01	0,17	0,74	0,7	0,01	<<0,01		
Cerradão											
<i>Agonandra brasiliensis</i>	1,33 ± 0,03	0,96 ± 0,07	-26,94 ± 1,72	5,59 ± 1,58	0,68 ± 0,14	2,24 ± 2,30	9,6 ± 6,0	0,70 ± 0,40	60 ± 29		
<i>Alibertia macrophylla</i>	1,38 ± 0,12	0,91 ± 0,11	-27,12 ± 2,08	2,96 ± 0,28	0,41 ± 0,02	1,20 ± 0,17	3,5 ± 1,8	1,07 ± 0,26	17 ± 12		
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1,35 ± 0,06	0,88 ± 0,07	-26,75 ± 1,12	2,23 ± 0,30	0,41 ± 0,03	1,21 ± 0,73	9,0 ± 3,0	0,42 ± 0,20	55 ± 96		
<i>Erythroxylum daphnites</i>	1,30 ± 0,07	0,89 ± 0,02	-28,98 ± 1,03	3,67 ± 0,87	0,48 ± 0,07	1,69 ± 0,53	5,1 ± 3,5	0,37 ± 0,07	17 ± 15		
<i>Kielmeyera coriacea</i>	1,22 ± 0,12	0,71 ± 0,18	-26,89 ± 0,57	1,87 ± 0,23	0,44 ± 0,03	1,47 ± 0,41	2,6 ± 0,9	0,24 ± 0,07	4 ± 5		
<i>Myrcia tomentosa</i>	1,44 ± 0,04	0,93 ± 0,04	-26,71 ± 0,16	2,53 ± 0,90	0,43 ± 0,06	1,06 ± 0,27	9,9 ± 4,2	1,04 ± 0,38	15 ± 14		
<i>Qualea grandiflora</i>	1,41 ± 0,11	0,81 ± 0,13	-26,26 ± 0,65	3,47 ± 2,13	0,49 ± 0,07	1,67 ± 0,13	2,1 ± 0,1	0,45 ± 0,16	1066 ± 726		
<i>Schefflera morototoni</i>	1,12 ± 0,00	0,65 ± 0,00	-24,23 ± 0,45	1,62 ± 0,20	0,34 ± 0,04	1,78 ± 0,10	1,0 ± 0,0	0,99 ± 0,09	0 ± 0		
<i>Tabebuia serratifolia</i>	1,34 ± 0,09	0,93 ± 0,04	-25,47 ± 0,31	2,81 ± 0,10	0,45 ± 0,11	2,34 ± 1,79	2,5 ± 0,2	0,36 ± 0,02	0 ± 0		
<i>Vochysia tucanorum</i>	1,38 ± 0,00	0,61 ± 0,03	-25,96 ± 1,10	2,10 ± 0,11	0,42 ± 0,01	1,40 ± 0,21	6,3 ± 5,0	1,62 ± 0,08	2127 ± 407		
p	0,01	0,12	0,34	<0,01	0,11	0,30	0,4	0,01	<<0,01		

*Dv - densidade da madeira verde, **Ds - densidade da madeira seca

..Continuação

Tabela 3.5 - Continuação

Espécies	Dv*, g.cm ⁻³	Ds**, g cm ⁻³	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	Concentração no tronco, g kg ⁻¹							
				N	P	K	Ca	Mg	Al		
Mata semidecídua											
<i>Aegiphila sellowiana</i>	0,95 ± 0,01	0,58 ± 0,00	-26,38 ± 0,09	2,78 ± 0,10	0,60 ± 0,07	1,54 ± 0,11	11,1 ± 1,1	0,27 ± 0,07	9 ± 9		
<i>Agonandra brasiliensis</i>	1,26 ± 0,03	0,88 ± 0,03	-25,75 ± 0,57	4,32 ± 0,84	0,60 ± 0,08	2,09 ± 0,06	4,1 ± 4,9	0,21 ± 0,06	74 ± 117		
<i>Alibertia macrophylla</i>	1,32 ± 0,04	0,89 ± 0,01	-28,82 ± 0,83	3,54 ± 0,71	0,45 ± 0,06	1,07 ± 0,32	4,7 ± 3,8	1,33 ± 0,68	13 ± 12		
<i>Kielmeyera coriacea</i>	1,11 ± 0,06	0,66 ± 0,05	-25,96 ± 0,53	1,62 ± 0,07	0,42 ± 0,06	1,21 ± 0,56	6,0 ± 4,4	0,27 ± 0,16	11 ± 10		
<i>Machaerium acutifolium</i>	1,36 ± 0,08	0,94 ± 0,04	-26,93 ± 0,26	7,10 ± 1,67	0,46 ± 0,03	0,30 ± 0,16	10,1 ± 3,3	0,14 ± 0,02	4 ± 6		
<i>Myrcia tomentosa</i>	1,26 ± 0,04	0,88 ± 0,00	-27,32 ± 0,89	2,25 ± 0,10	0,48 ± 0,03	0,85 ± 0,37	8,3 ± 3,6	0,90 ± 0,32	83 ± 126		
<i>Ouratea castaneifolia</i>	1,27 ± 0,04	0,89 ± 0,06	-28,42 ± 0,18	3,57 ± 1,10	0,52 ± 0,03	0,86 ± 0,17	4,1 ± 1,4	0,46 ± 0,11	4 ± 8		
<i>Qualea grandiflora</i>	1,27 ± 0,06	0,80 ± 0,10	-26,91 ± 0,53	3,04 ± 0,12	0,49 ± 0,00	2,47 ± 1,17	2,2 ± 1,3	0,27 ± 0,02	706 ± 269		
<i>Tabebuia serratifolia</i>	1,33 ± 0,12	0,92 ± 0,14	-27,24 ± 0,96	2,97 ± 0,70	0,61 ± 0,06	1,96 ± 0,82	5,5 ± 3,5	0,39 ± 0,27	36 ± 57		
<i>Terminalia glabrescens</i>	1,37 ± 0,03	0,94 ± 0,02	-25,90 ± 0,61	2,41 ± 0,37	0,49 ± 0,06	1,00 ± 0,13	4,0 ± 3,4	0,27 ± 0,01	8 ± 9		
p	0,13	<0,01	0,92	<<0,01	0,08	0,27	0,2	0,01	<<0,01		
Mata de galeria – Pitoco											
<i>Alibertia macrophylla</i>	1,32 ± 0,04	0,93 ± 0,02	-28,66 ± 0,29	2,39 ± 0,21	0,43 ± 0,02	1,05 ± 0,21	2,8 ± 1,1	1,01 ± 0,26	39 ± 32		
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1,24 ± 0,03	0,85 ± 0,03	-27,28 ± 0,79	1,82 ± 0,19	0,45 ± 0,02	0,91 ± 0,29	6,7 ± 4,8	0,51 ± 0,13	20 ± 32		
<i>Erythroxylum daphnites</i>	1,15 ± 0,07	0,65 ± 0,16	-30,31 ± 2,06	3,95 ± 1,33	0,34 ± 0,07	2,23 ± 0,22	5,0 ± 3,5	1,27 ± 0,81	98 ± 94		
<i>Myrcia tomentosa</i>	1,33 ± 0,04	0,90 ± 0,01	-28,29 ± 0,57	2,04 ± 0,46	0,42 ± 0,09	1,13 ± 0,51	3,9 ± 0,6	0,78 ± 0,06	1 ± 2		
<i>Ouratea castaneifolia</i>	1,35 ± 0,05	0,90 ± 0,03	-28,14 ± 0,69	2,55 ± 0,87	0,46 ± 0,04	0,75 ± 0,15	4,4 ± 1,9	0,57 ± 0,19	5 ± 8		
<i>Piptocarpha macropoda</i>	1,25 ± 0,03	0,65 ± 0,08	-27,55 ± 1,70	2,00 ± 0,43	0,43 ± 0,03	2,53 ± 1,45	6,6 ± 3,2	0,79 ± 0,18	40 ± 63		
<i>Pouteria torta</i> var. <i>glabra</i>	1,32 ± 0,03	0,77 ± 0,05	-28,06 ± 0,35	2,41 ± 0,12	0,46 ± 0,02	1,71 ± 0,30	3,2 ± 0,1	0,31 ± 0,13	62 ± 58		
<i>Schefflera morototoni</i>	1,17 ± 0,13	0,41 ± 0,01	-27,71 ± 0,71	5,94 ± 0,98	0,46 ± 0,07	15,9 ± 2,44	5,4 ± 1,0	3,33 ± 0,78	6 ± 6		
<i>Symplocos mosenii</i>	1,21 ± 0,05	0,56 ± 0,01	-26,59 ± 0,61	1,81 ± 0,40	0,39 ± 0,05	3,31 ± 0,40	9,3 ± 3,6	0,71 ± 0,39	3786 ± 1615		
<i>Terminalia glabrescens</i>	1,34 ± 0,16	0,93 ± 0,03	-26,43 ± 0,85	2,02 ± 0,44	0,42 ± 0,02	0,76 ± 0,20	4,9 ± 4,1	0,32 ± 0,13	28 ± 33		
p	0,02	<<0,01	0,32	0,24	0,31	0,07	0,6	0,11	<<0,01		
Mata de galeria – Taquara											
<i>Aegiphila sellowiana</i>	1,20 ± 0,00	0,55 ± 0,00	-26,80 ± 0,10	2,31 ± 0,14	0,57 ± 0,03	0,99 ± 0,11	0,9 ± 0,4	0,30 ± 0,04	182 ± 20		
<i>Alibertia macrophylla</i>	1,39 ± 0,05	0,99 ± 0,03	-28,11 ± 0,98	2,71 ± 0,23	0,41 ± 0,03	0,89 ± 0,26	3,0 ± 1,4	0,75 ± 0,09	102 ± 141		
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1,29 ± 0,04	0,84 ± 0,03	-28,89 ± 1,04	2,18 ± 0,18	0,49 ± 0,12	0,66 ± 0,15	4,2 ± 5,3	0,81 ± 0,29	9 ± 9		
<i>Myrcia tomentosa</i>	1,38 ± 0,05	0,88 ± 0,03	-26,81 ± 0,08	1,79 ± 0,19	0,42 ± 0,02	0,47 ± 0,24	5,2 ± 0,7	0,39 ± 0,21	5 ± 5		
<i>Ouratea castaneifolia</i>	1,35 ± 0,03	0,86 ± 0,03	-28,41 ± 0,74	2,20 ± 0,24	0,47 ± 0,15	0,77 ± 0,02	5,2 ± 0,8	1,02 ± 0,59	3 ± 5		
<i>Piptocarpha macropoda</i>	1,24 ± 0,06	0,69 ± 0,05	-28,09 ± 1,13	1,87 ± 0,38	0,42 ± 0,05	1,73 ± 1,06	4,4 ± 1,4	0,39 ± 0,24	15 ± 18		
<i>Schefflera morototoni</i>	0,92 ± 0,02	0,57 ± 0,02	-27,33 ± 0,69	1,18 ± 0,18	0,39 ± 0,05	0,43 ± 0,22	6,3 ± 0,7	0,56 ± 0,27	7 ± 13		
<i>Symplocos mosenii</i>	1,12 ± 0,07	0,56 ± 0,03	-28,55 ± 0,37	1,38 ± 0,32	0,44 ± 0,04	1,43 ± 0,42	6,1 ± 3,6	0,18 ± 0,03	339 ± 37		
<i>Terminalia glabrescens</i>	1,33 ± 0,08	0,94 ± 0,08	-26,47 ± 1,02	1,93 ± 0,26	0,43 ± 0,05	0,77 ± 0,24	4,4 ± 1,5	0,25 ± 0,17	0 ± 0		
p	<0,01	<<0,01	0,81	0,01	0,23	0,34	0,4	0,11	0,03		

*Dv - densidade da madeira verde, **Ds - densidade da madeira seca

4 – DISCUSSÃO

Os macronutrientes foliares apresentaram concentrações diferenciadas entre as fitofisionomias estudadas (Figura 3.1). Foi verificada, entretanto grande variação entre espécies, como nas correlações entre N e P além de Ca e Mg, ambos, pares de nutrientes bem correlacionados (Figura 3.2 e 3.3). A variação de N foliar é estequiométricamente relacionada à de P (Kerkhoff *et al.*, 2006) e representa diferenças fisiológicas entre as plantas (Reich *et al.* 2006) que podem ser determinadas na escala filogenética, em níveis mais elevados do que as divisões entre espécies (Kerkhoff *et al.*, 2006). Como a maioria das espécies pertence a diferentes famílias, ou subfamílias (Tabela 3.1), é provável que as diferenças filogenéticas sejam a principal causa das variações nos teores de N e P verificadas dentro de um mesmo ambiente.

Já as diferenças verificadas nas concentrações de Ca e Mg são normalmente atribuídas às características morfológicas e propriedades da parede celular, características que podem ser diversas em diferentes grupos de angiospermas (White e Broadley, 2003). A influência filogenética pode ser verificada para o Ca, por exemplo, na espécie *Agonandra brasiliensis*, que apresentou altas concentrações foliares deste elemento quer estabelecida no cerrado quer na mata semidecídua (Figura 3.3), ambientes onde a disponibilidade deste elemento no solo é muito diferenciada. Contudo, a tendência geral de maior concentração de Ca observada nas folhas de todas as espécies amostradas na mata semidecídua, pode ser atribuída aos teores mais elevados desse nutriente no solo, que foram superiores aos vistos nas demais fisionomias (Figura 3.11).

Como em cada fitofisionomia foi amostrado um dado grupo de espécies (Tabela 3.1) e como diferenças entre as espécies aqui estudadas, por serem de diferentes famílias, determinam grandes variações na composição química de seus tecidos (Watanabe *et al.* 2007), poder-se-ia supor que as diferenças verificadas entre as comunidades das fisionomias estudadas seriam causadas por nada além de diferenças filogenéticas. Contudo, quando comparadas apenas espécies comuns entre cerrado e cada uma das fisionomias florestais, foram verificadas além das já esperadas diferenças entre espécies, diferenças altamente significativas também entre ambientes (Tabela 3.2).

Enquanto as variações entre espécies traduzem diferenças filogenéticas, diferenças entre ambientes podem representar uma maior disponibilidade de recursos, visto que onde há maiores concentrações de nutrientes no solo são também esperadas maiores concentrações no tecido das plantas (Moreno 2005, Souza *et al.* 2007), ou uma maior eficiência das plantas na utilização deste recurso (Haridasan 2005).

A hipótese de que uma maior disponibilidade promove uma maior assimilação, é consistente com as diferenças verificadas entre as plantas estabelecidas no cerrado, comparadas às amostradas em ecossistemas onde os solos são mais ricos, como matas de galeria e mata semidecídua. Entretanto, maiores concentrações de nutrientes foram verificadas também quando comparadas folhas das plantas do cerradão e do cerrado, ambientes que não apresentaram diferenças significativas de nutrientes no solo (Figura 3.11). Infere-se, portanto, que outras características além da fertilidade do solo, influenciam o estado nutricional da vegetação.

Mesmo nas fitofisionomias onde a fertilidade do solo é superior, a disponibilidade de nutrientes não parece ser o fator principal de influência do ambiente sobre o estado nutricional da vegetação, pois apesar das grandes variações nutricionais verificadas nos solos superficiais entre os ecossistemas estudados, não houve correlação entre nutrientes no solo e nas folhas, com exceção do Ca (Figura 3.12). Assim, é possível que os teores de Ca representem o principal fator limitante em termos nutricionais, para o estabelecimento e desenvolvimento dessas espécies.

A heterogeneidade de solos é comum na região do DF, pois ali se encontram tanto superfícies geomórficas recentes, formações do Pleistoceno, quanto remanescentes de superfícies muito antigas (Lepsch e Buol 1988). As áreas de mata decídua ou semidecídua, normalmente estão associadas a solos recentes que em função do material de origem são menos ácidos e mais ricos quanto à disponibilidade de nutrientes (Motta *et al.* 2002a, Reatto *et al.* 2004). Em contraste, as demais fisionomias florestais podem se encontrar estabelecidas sobre solos altamente intemperizados, onde a fertilidade do solo passa a ser mais elevada do que em solos

do cerrado, principalmente pelas interações entre solos e vegetação, como ocorre nas matas de galeria (Haridasan 1998).

A área de cerradão aqui estudada não apresenta qualquer diferença de fertilidade quando comparada ao cerrado e, assim como a mata de galeria do Pitoco, está sobre um solo altamente intemperizado, Latossolo Vermelho Escuro (Silva Júnior 2001, Ribeiro 1983, Pereira 1989). Já a mata de galeria do Taquara se encontra sobre solos Hidromórficos, em um local onde há a presença de manchas com maiores concentrações de Ca (Silva Júnior 1995, Figura 3.11) em função de deposição de material sedimentar aluvial originado no Quaternário, que proporciona para este elemento, zonas de fertilidade intermediária (Pereira 1993, Motta *et al.* 2002a).

Essas características dos solos há muito têm sido apontadas como principais responsáveis pelo mosaico de paisagens verificado na região (Eiten 1972, 1990). Contudo, não somente os atributos químicos estão relacionados à distribuição de espécies e fisionomias. Trabalhos recentes têm atribuído importância muitas vezes maior às características físicas, como a textura dos solos e a presença de concreções (Ruggiero *et al.* 2002, Haridasan 2007). Além disso, outros fatores físicos como a influência da topografia e profundidade do lençol freático (Furley 1992) e limitações impostas pela densidade do solo ao desenvolvimento de raízes, mesmo em plantas altamente adaptadas a solos compactados (Goedert 2002) são variáveis que atuam diretamente na distribuição da vegetação.

Nos resultados aqui apresentados a textura foi uma variável de grande diferenciação entre fitofisionomias (Figura 3.13). As variações verificadas entre solos argilosos e arenosos, representam diferenciação no funcionamento do solo como reservatório de água, e na dinâmica de carbono e nutrientes, uma vez que argilas e areias têm capacidade de adsorção muito distinta (Zinn *et al.* 2005). Além disso, a textura do solo, principalmente quanto às suas implicações sobre a dinâmica da água e carbono, afeta o desenvolvimento de comunidades microbianas, que desempenham um papel fundamental na relação entre solo e plantas (Steenwerth *et al.* 2005). Esses aspectos estão diretamente relacionados à nutrição das plantas e, portanto, possivelmente relacionados ao fato dos nutrientes nas folhas não acompanharem as variações vistas nos nutrientes dos solos (Figura 3.12).

O solo do cerradão por ser mais argiloso que o do cerrado (Figura 3.13) pode promover maior armazenamento de água, fator que aliado a maiores teores de matéria orgânica e ao maior sombreamento e proteção do solo conferido pela vegetação de estrutura florestal, compõem ambiente edáfico mais favorável à atividade de microorganismos e consequente a otimização da utilização de nutrientes pelas plantas no cerradão ainda que estas sejam das mesmas espécies avaliadas e estabelecidas sobre solos tão pobres quanto os do cerrado (Jenkinson e Ladd 1981, Silveira 2005).

Trabalhos anteriores que compararam características edáficas entre áreas de cerrado e cerradão, concluíram que o estoque atual de nutrientes nos solos não explica as diferenças estruturais entre essas duas fitofisionomias, uma vez que a disponibilidade de nutrientes é muito baixa nos dois ambientes (Ribeiro 1983, Haridasan 1992, Moreno 2005, Marimon e Haridasan 2005). Foram apontadas nesses estudos, no entanto, diferenças na textura e retenção de umidade nos solos, sempre mais elevada em áreas de cerradão. O que fundamenta a idéia de que diferenças físicas, aliadas ao microambiente promovido pela vegetação de estrutura florestal e uma maior atividade microbiana, seriam responsáveis pela manutenção das áreas de cerradão por, em última análise, aumentar a eficiência da reciclagem dos nutrientes estocados na biomassa vegetal.

Adicionalmente, o fato dos nutrientes foliares e dos troncos apresentarem diferenças altamente significativas entre espécies e ausência de correlação com o solo (Tabelas 3.3 e 3.5, Figura 3.12), reforça a indicação de que a história evolutiva das espécies é tão importante quanto as condições ambientais no balanço nutricional das comunidades de plantas. Trabalhos recentes têm identificado a importância da interação entre plantas e microorganismos em solos altamente intemperizados, sob vegetação savânica, onde grupos específicos de espécies adaptadas a estas interações desempenham um papel fundamental na manutenção do ecossistema como um todo (Lambers e Shanne 2007).

Além disso, em outros ecossistemas no mundo tem sido demonstrada relativa independência dos custos de construção de tecidos vegetais diante da disponibilidade de nutrientes nos ambientes (Poorter *et al.* 2006, Villar *et al.* 2006). Segundo esses autores a separação

filogenética entre espécies é responsável por variações maiores no custo de construção de tecidos, do que as variações verificadas para um mesmo grupo de plantas, estabelecido em ambientes extremos. De modo que a presença de certos grupos espécies, por manterem seus requerimentos nutricionais independentemente das condições externas, pode por modificar o meio físico, especialmente onde há maiores limitações de nutrientes, condicionar o estabelecimento de outros grupos de plantas.

Possivelmente o mesmo se aplica para o bioma Cerrado, onde a presença de espécies adaptadas a determinadas condições, não somente nutricionais, pode promover a sustentação de um dado ecossistema. No caso específico de comparação entre cerrado e cerradão nas áreas aqui estudadas, é possível, por exemplo, que a causa de maior biomassa vegetal no cerradão seja a diferenciação florística, onde a presença de espécies mais adaptadas a solos com maior disponibilidade de água seria o principal fator de diferenciação entre os dois ecossistemas (Ribeiro 1983).

Outro exemplo de diferenciação entre grupos de espécies adaptados a diferentes condições pode ser visto quando avaliado o comportamento das espécies quanto ao elemento Al. Nos resultados aqui apresentados tanto em troncos quanto em folhas, houve diferenças altamente significativas, apenas entre espécies, em qualquer dos ambientes avaliados, retratando as diferenças existentes entre plantas acumuladoras e não acumuladoras (Tabelas 3.2 a 3.5). O Al foi também o único elemento em que se verificou uma forte correlação de teores nos troncos e folhas (Figura 3.9) de modo que sua acumulação no tecido representa uma estratégia adaptativa que engloba a planta como um todo, independentemente do ambiente, uma vez que não se verificaram correlações entre teores de Al no solo e nas plantas (Figura 3.11).

Na análise dos troncos, tanto nutrientes quanto densidade da madeira, tiveram diferenças significativas registradas, na maioria dos casos, apenas entre espécies (Tabela 3.5, Figura 3.5), por isso esses atributos parecem especialmente ligados à história evolutiva e às separações ocorridas no passado entre as famílias de plantas por diferentes estratégias adaptativas. Entre os macronutrientes, os quais deveriam apresentar altas correlações entre folhas e troncos (Villar *et al.* 2006), somente foi verificada correlação para N e P, que são normalmente os

nutrientes mais correlacionados entre os diferentes órgãos das plantas (Kerkhoff *et al.*, 2006). Ainda assim, essas correlações foram fracas, pois as folhas variaram mais em relação ao ambiente de amostragem, enquanto houve apenas um caso onde diferenças significativas no tronco foram observadas entre diferentes ambientes (Tabela 3.4).

Nas plantas da mata de galeria do Taquara foram verificadas menores concentrações de Ca, K e Na do que nas plantas no cerrado. Diferenças no Ca podem estar ligadas a diferenças na idade do tecido amostrado, visto que este elemento toma parte na composição estrutural dos tecidos, não apresentando grande mobilidade dentro das plantas (Garter Jr 1976, Mengel e Kirkby, 1987). Já a assimilação e distribuição de K e Na ocorrem de forma muito similar dentro dos organismos vegetais (Watab *et al.* 1991), contudo a praticamente inexistência de Na nos solos da região, aliada ao fato de não terem sido verificadas essas diferenças entre cerrado e as demais fisionomias florestais tornam esse resultado inconclusivo.

De um modo geral, as condições nutricionais para a produção de biomassa tanto de folhas quanto de troncos das espécies estudadas parecem ser atingidas mesmo quando estabelecidas sobre solos menos férteis como os do cerrado. A maioria dessas espécies é comumente encontrada em ambientes florestais como matas de galeria, que apesar dos solos mais férteis, não apresentam teores nutricionais que os permita classificar como nutricionalmente ricos e, ainda assim, suportam densa estrutura florestal. Já as florestas estacionais como as matas semidecíduas, que ocupam áreas de solo eutrófico, sofrem fortes restrições de acesso à água e consequentemente de disponibilidade de nutrientes por vários meses no ano, enquanto o cerradão é uma floresta estabelecida sobre solos de cerrado.

Portanto, o ambiente florestal em si, com suas dinâmicas, características específicas e processos de retroalimentação com o ambiente, parece ser mais responsável pela sua existência do que quaisquer características ambientais vistas isoladamente. Possivelmente, o momento do estabelecimento inicial, quando são conhecidas maiores demandas por parte das espécies florestais (Hoffmann e Franco 2003), seja determinante na formação das fitofisionomias. De forma que, mais do que as limitações do ambiente, passam a ter forte influência os impactos antrópicos negativos como os causados pela alta freqüência de

queimadas ou mesmo atividades agropastoris, que dão vantagem competitiva às gramíneas inviabilizando o adensamento da cobertura arbórea (Hoffmann e Haridasan *no prelo*).

Existem ainda outras variáveis que devem ser incluídas nessa discussão, como a relação entre área foliar específica e o teor de nutrientes foliares, características descritas na literatura como sendo bem correlacionadas (King 2003, Franco *et al.* 2005, Hoffmann *et al.* 2005). Na figura 3.10 verifica-se que apenas os nutrientes N e P nas folhas, ainda assim de forma fraca, foram correlacionados positivamente com a área foliar específica. Isso pode ser explicado pelo comportamento diferenciado entre nutrientes e área foliar com relação aos ecossistemas. Enquanto os nutrientes não responderam às diferenças entre fitosionomias a área foliar específica apresentou uma estreita relação com os diferentes ambientes estudados (Figura 3.6), onde todas as fitofisionomias florestais apresentaram valores significativamente mais elevados do que os do cerrado. De acordo com Poorter e Jong (1999) e Villar *et al.* (2006) as variações na área foliar, assim como, suas relações com teores nutricionais são normalmente mais expressivas entre famílias e espécies, do que entre ecossistemas. Contudo, ambientes de maior produtividade, onde a competição por luz é maior (Tilman 1988), tendem a apresentar maiores valores de área foliar específica, que é a característica foliar mais importante na adaptação de plantas a ambientes sombreados (Poorter *et al.* 2006).

Outro aspecto bem relacionado às diferentes fitofisionomias, assim como a área foliar específica, é a eficiência no uso de água. Esta está intrinsecamente ligada à condutância estomática e, portanto, é também influenciada pelo grau de sombreamento das folhas, bem como, pelo acesso das plantas à água. Maiores taxas de transpiração, considerando-se um mesmo fluxo de absorção de CO₂, representam menor eficiência no uso de água, eficiência que pode ser mensuradas, pela razão entre isótopos de carbono, $\delta^{13}\text{C}$, nas folhas e no tecido do tronco (Farquhar 1982, Farquhar e Richards 1984; Farquhar *et al.* 1988; Ehleringer *et al.* 1993). Ambos resultados aqui apresentados, referentes a troncos e folhas, demonstraram uma menor eficiência no uso de água pelas espécies estabelecidas nas matas de galeria (Figura 3.6).

Ambientes florestais, como as matas de galeria, são ecossistemas que apresentam maiores taxas de transpiração total do que ambientes savânicos (Jipp *et al.* 1998). Essas matas são

ecossistemas inherentemente associados aos cursos de água, onde normalmente são encontrados os maiores percentuais de cobertura florestal e, portanto, os maiores percentuais de sombreamento (Eiten 1990). Dessa forma nesses ambientes as plantas não necessitam de uma eficiência no uso da água, como a verificada no caso das fitosionomias onde o acesso à água é mais restrito e a exposição à luz, além da demanda atmosférica, são mais intensas, como é o caso do cerrado, cerradão e mata semidecídua (Figura 3.6 e 3.7).

Foi verificada correlação negativa entre $\delta^{13}\text{C}$ foliar e área foliar específica, de modo que quanto maior o investimento em área de folha, menor a eficiência no uso de água pela planta (Figura 3.8). Apesar da correlação positiva, entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do tronco e folhas, a AFE não foi correlacionada com o $\delta^{13}\text{C}$ do tronco. Isso se deve possivelmente à participação na composição de isótopos, entre troncos e folhas, onde os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foliares foram mais negativos (Figura 3.8). Essa participação de carbonos entre os órgãos vegetais é amplamente documentada e ocorre em todos os grupos de plantas, provavelmente em função de processos pós-fotossintéticos como o transporte dos produtos metabólicos, metabolismo heterotrófico (via respiração), ou assimilação (sem luz) via PEP carboxilases e, aparentemente, não tem relação alguma com a forma de utilização da água pelas plantas (Read e Farquhar 1991, Badeck *et al.* 2005).

Outro aspecto relevante que tange os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ aqui observados, refere-se às comparações feitas utilizando-se apenas as espécies comuns às áreas de cerrado e a cada uma das fisionomias florestais (Tabelas 3.2 a 3.5). Nessas comparações não foram verificadas diferenças significativas (5%) entre os ambientes, com exceção da comparação entre troncos das plantas espécies estabelecidas na mata de galeria do Pitoco e as do cerrado (Tabela 3.4). Apesar disso, todos os valores de $\delta^{13}\text{C}$ tanto das folhas quanto dos troncos foram mais negativos nos ambientes florestais, e seriam significativamente diferentes, na maioria dos casos, se considerado um nível de significância de 10%. Isso quer dizer que os ambientes florestais promovem, dadas as mesmas espécies, menor eficiência no uso de água do que os ambientes abertos, como o cerrado. O fato de não terem sido encontradas diferenças significativas entre espécies em nenhum dos ambientes estudados ressalta o $\delta^{13}\text{C}$ como variável mais responsiva aos fatores ambientais.

5 - CONCLUSÕES

Foram verificadas diferenças significativas nas características dos solos entre as fitofisionomias estudadas. Os solos mais férteis foram os da mata semidecídua, seguidos pelos solos das matas de galeria, enquanto cerrado e cerradão apresentaram os menores teores nutricionais e diferenças apenas quanto ao teor de argila. No entanto, a disponibilidade de nutrientes no solo não foi o principal determinante do estoque de nutrientes na biomassa, uma vez que não houve correlação entre nutrientes nos solos, folhas ou troncos, com exceção do Ca para o qual houve correlação entre os teores foliares e a disponibilidade no solo. É possível, portanto, que os teores de Ca representem o principal fator limitante em termos nutricionais, para o estabelecimento e desenvolvimento de indivíduos arbóreos no cerrado.

As espécies amostradas nas áreas florestais apresentaram maiores teores nutricionais nas folhas do que as espécies amostradas no cerrado. Isso é válido mesmo quando consideradas apenas espécies comuns ao cerrado e a cada fitosionomia florestal, tendo sido verificadas maiores concentrações de nutrientes foliares em todas as áreas de floresta, mesmo no cerradão, onde a condição nutricional dos solos é semelhante à do cerrado. É provável que outros fatores como os maiores teores de argila, sombreamento e possivelmente maior atividade biológica do solo de cerradão, permitam uma melhor eficiência na utilização de recursos nessa área.

As características do tronco foram as que menos responderam às variações entre ambientes. Ademais, os teores nutricionais e densidade dos troncos, apresentaram diferenças altamente significativas entre espécies, o que sugere que esses fatores são, em maior parte, determinados por diferenças filogenéticas. Enquanto as folhas, apesar de também apresentarem diferenças significativas entre espécies, mostraram maior plasticidade em relação à mudança de ambiente. Características como a área foliar específica e eficiência do uso de água, apresentaram correlação negativa e variações significativas entre as fitofisionomias. A comunidade de cerrado apresentou menores valores de AFE e maior eficiência no uso de água. Entre as fisionomias florestais nas matas de galeria foram registrados os maiores valores de AFE e os menores valores de $\delta^{13}\text{C}$, indicando menor eficiência no uso de água. Como não houve diferenças no $\delta^{13}\text{C}$ entre espécies, mas entre fisionomias, é provável que a eficiência no uso de água seja uma característica sob forte influência do ambiente externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSUNÇÃO S.L., FELFILI J.M. (2004). Phytosociology of a cerrado sensu stricto fragment at the Paranoá environmental protection area, DF, Brazil. *Acta Botânica Brasílica*, São Paulo, 18 4, 903-909.
- BADECK F.W., TCHERKEZ G., NOGUE'S S., PIEL C., JALEH GHASHGHAIE J. (2005). Post-photosynthetic fractionation of stable carbon isotopes between plant organs - a widespread phenomenon. *Rapid communications in mass spectrometry*, 19, 1381–1391.
- BALDUINO A.P.C.; SOUZA A.L.; NETO J.A.A.; SILVA A.F.; SILVA JÚNIOR M.C. (2005). Fitossociologia e análise comparativa da composição florística do cerrado da flora de Paraopeba-MG. *Revista Árvore*, 29 1, 25-34.
- BORGES H.B.N., SHEPHERD G.J. (2005). Flora e estrutura do estrato lenhoso numa comunidade de Cerrado em Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 28, 1, 61-74.
- BOTREL R.T., OLIVEIRA-FILHO A.T., RODRIGUES L.A., CURI N. (2002). Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 25 2, 195-213.
- BROADLEY M.R., WILLEY N.J., WILKINS J.C., BAKER A.J.M., MEAD A., WHITE P.J. (2001). Phylogenetic variation in heavy metal accumulation in angiosperms. *New Phytologist* 152, 9–27.
- BROADLEY M.R., BOWEN H.C., COTTERILL H.L., HAMMOND J.P., MEACHAM M.C., MEAD A., WHITE P.J. (2004). Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. *Journal of Experimental Botany* 55, 321–336.
- DUNCAN D.B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.

EHLERINGER J.R., HALL A.E., FARQUHAR G.D. (1993) Stable Isotopes an Plant Carbon–Water Relations. Academic Press, San Diego, CA, USA.

EITEN G. (1972). The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*. 38, 205-341.

EITEN G. (1990). Vegetação do Cerrado In: Cerrado: caracterização ocupação e perspectiva (Pinto M.N. ed.), pp. 9-65. SEMATEC/UnB, Brasília.

ELLIOTT K., WHITE A.S. (1994). Effects of light, nitrogen, and phosphorus on red seedling growth and nutrient use efficiency. *Forest Science* 40, 47-58.

EMBRAPA. (1997). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) 212p.

EMBRAPA. (1999). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília. 412p.

EMBRAPA. (2005). Manual de laboratórios: Solo, Água, Nutrição Animal e Alimentos (Nogueira A.R.A., Souza G.B., eds.) Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, SP, 313p.

FARQUHAR G.D., O'LEARY M.H., BERRY J.A. (1982). *Aust. J. of Plant Physiol.* 9, 121-137.

FARQUHAR, G.D. E RICHARDS, R.A. (1984) Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11, 539–552.

FARQUHAR G.D., HUBIK K.T., CONDON A.G., RICHARDS R.A. (1988). Carbon isotope fractionation and plant water-use efficiency. *Stable Isotopes in Ecological Research* (Rundel P.W., Ehleringer J.R., Nagy K.A., eds.), pp. 21–40. Springer-Verlag, New York.

FELFILI J.M., SILVA JUNIOR, M.C. (1992). Floristic composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forests at Fazenda Água Limpa, Federal District, Brazil. In: Nature and dynamics of forest-savanna boundaries (Furley J.A., Proctor, Ratter J.A., eds.). Pp. 393-415. Chapman e Hal London,

FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C.; MARINON, B. S.; DELITTI, W. B. C. (2002). Composição florística e fitossociologia do cerrado restrito do município de Água Boa, MT. *Acta Botânica Brasílica*, 16, 1, 103-112.

FRANCO, A.C. (2002). Ecophysiology of woody plants. *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna* (eds P.S. Oliveira e R.J. Marquis), pp. 178–197. Columbia University Press, New York.

FRANCO A.C., BUSTAMANTE M., CALDAS L.S., GOLDSTEIN G., MEINZER F.C., KOZOVITS A.R., RUNDEL P., CORADIN R., VERA T. (2005). Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees*, 19, 326–335.

FURLEY, P.A. (1992). Edaphic changes at the forest-savanna boundary with particular reference to the neotropics. *Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries* (eds P.A. Furley, J. Proctor e J.A. Ratter), pp. 91–115. Chapman e Hall, London.

GARTEN Jr.C.T. (1976). Correlations between concentrations of elements in plants. *Nature* 261, 686-688.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J. e FREITAS, F.C. 2002. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 2, 233-227.

GUNATILLEKE C.V.S., GUNATILLEKE I.A.U.N., PERERA G.A.D., BURSLEN D.F.R.P., ASHTON P.M.S. e ASHTON P.S. (1997). Responses to nutrient addition among seedlings of eight closely related species of *Shorea* in Sri Lanka. *Journal of Ecology* 85, 301-311.

GRIME J.P. (2001). Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. Chichester, UK. 417p.

HARIDASAN M. (1990). Solos do Distrito Federal. In: Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas (Pinto M.N., org.), pp. 310-330. Brasília, Editora Universidade de Brasília.

HARIDASAN M. (1992). Observations on soils, foliar nutrient concentrations and floristic composition of cerrado sensu stricto and cerradão communities in central Brazil. In: Nature and Dynamics of Forest–Savanna Boundaries (Furley P.A., Proctor J. e Ratter J.A., eds), pp. 171–184. Chapman e Hall, London.

HARIDASAN M. (2001). Nutrient cycling as a function of landscape and biotic characteristics in the cerrado of central Brazil. In: Biogeochemistry of the Amazon basin and its role in a changing world (McClain M.E., Victoria R.L. e Richey J.E. eds.) pp.68-83. Oxford University Press, New York.

HARIDASAN, M. (2005). Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado. In: Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação.(Scariot A., Felfili J.M., Sousa-Silva J.C. eds.) pp. 167-178. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 439p.

HARIDASAN M., ARAÚJO G. (2005) Perfil nutricional de espécies lenhosas de duas florestas semidecíduas em Uberlândia, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 28, 2, 295-303.

HARIDASAN M. (2007). Solos (da Chapada dos Veadeiros). In: Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos. (Felfili, J.M.; Rezende, A. V.; Silva Júnior, M. C. orgs.) pp. 25-43. Editora Universidade de Brasília/FINATEC, Brasília. 256p.

HOFFMANN W.A., FRANCO A.C. (2003) Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically-independent contrasts. *Journal of Ecology* 91, 475–484.

HOFFMANNN, W. A. E HARIDASAN, M. The invasive grass, *Melinis minutiflora*, inhibits tree regeneration in a Neotropical savanna. *Austral Ecology* (no prelo).

HOFFMANN W. A., MOREIRA M. C., FRANCO A. C., HARIDASAN M. (2005a). Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. *Functional Ecology*, 19, 932–940.

HOFFMANNN, W.A., SILVA, E.R., MACHADO, G.C., BUCCI, S.J., SCHOLZ, F.G., GOLDSTEIN, G., MEINZER, F.C. (2005b). Seasonal leaf dynamics across a tree density gradient in a Brazilian savanna. *Oecologia*, 145, 307-316.

IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NAVÉ, A.G. (1999). Fitossociologia de um Trecho de Floresta Estacional Semidecidual em Itatiba, São Paulo, Brasil. *Scientia Forestalis*, 5 6, 83-99.

JENKINSON D.S., LADD J.N. (1981). Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: *Soil Biochemistry v. 5, 1* (PAUL E.A., LADD J.N., eds.) pp. 415-471. New York: Dekker.

JIPP P.H., NEPSTAD D.C., CASSEL D.K., CARVALHO C.R. (1998). Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia. *Climate Change*, 39, 395-412.

KENT M., COKER P. (1992). *Vegetation Description and Analysis*. Belhaven Press. London. 363 p.

KERKHOFF A.J., FAGAN W.F., ELSEY J.J., ENQUIST B.J. (2006). Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants. *American Naturalist*. 168, 103–122.

KING D.A. (2003). Allocation of above-ground growth is related to light in temperate deciduous saplings. *Functional Ecology* 17, 482–488.

LAMBERS H., SHANE M.W. (2007). Phosphorus nutrition of Australian Proteaceae and Cyperaceae: A strategy on old landscapes with prolonged oceanically buffered climates. *South African Journal of Botany*, 73 2, 274-275.

LEDRU M.P. (1992). Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research*, 39, 90-98.

LEPSCH I.F., BUOL S.W. (1988). Oxisol-landscape relationships in Brazil. In: International soil classification worksho. pp.174-189. Proceeding part 1, Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/USDA/UFPR.

MAcCUNE B.; MEFFORD M.J. (1997). PC-ORD: multivariate analysis of ecological data. Version 3.0. Oregon: MjM Software Design.

MARIMON-JUNIOR B. H., HARIDASAN M. (2005). Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso. *Acta Botanica Brasílica*. 19, 913-926.

MEDINA E., CUEVAS E. (1996). Biomass production and accumulation in nutrient-limited rain forests: Implications for responses to global change. In: Amazonian Deforestation and Climate. (Gash J.H.C., Nobre C.A., Roberts J.M., Victoria R.L., eds.), pp. 221-239. Wiley, Chichester, U.K.

MÉIO B.B., FREITAS C.V., JATOBÁ L., SILVA M.E.F., RIBEIRO J.F., HENRIQUES R.P.B. (2003). Influência da flora das florestas Amazônica e Atlântica na vegetação do cerrado sensu stricto. Revista brasileira de Botânica. 26 4, 437-444.

MENDONÇA R.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA-JÚNIOR, M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S.e NOGUEIRA, P.E.N. (1998). Flora lenhosa do bioma cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora (Sano S.M. e Almeida S.P., orgs.) pp. 287-556. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

MENGEL K., KIRKBY E.A. (1987). Principles of plant nutrition. 4. ed. Bern: International Potash Institute. 687 p.

MORENO M.I.C. (2005). Estado nutricional de espécies lenhosas e disponibilidade de nutrientes no solo e na serapilheira em diferentes fitofisionomias do cerrado na região do Triângulo Mineiro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília 109p.

MOTTA P.E.F., CARVALHO-FILHO A., KER J.C., PEREIRA N.R., CARVALHO JR. W. E BLANCANEAUX P. (2002). Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37, 869–878.

MOTTA P.E.F., CURI N. E FRANZMEIER D.P. (2002). Relations of soils and geomorphic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. (Oliveira, P.S. and Marquis, R.J., eds.), pp. 13-32. Columbia Univ. Press, New York.

NASCIMENTO, A.R.T.; FELFILI, J.M. E MEIRELLES, E.M. (2004). Florística e estrutura da comunidade arbórea de um remanescente de Floresta Estacional Decidual de encosta, Monte Alegre, GO, Brasil. Acta Botânica Brasilica 18, 3, 659-669.

OSUNKOYA O.O., ASH J.E., HOPKINS M.S. e GRAHAN A. (1994). Influence of seed size and seedlings ecological attributes on shade-tolerance of rain-forest tree species in northern Queensland. *Journal of Ecology*. 82, 149-163.

PEACE W.S.H. e GRUBB P.J. (1982). Interaction of light and mineral nutrient supply in the growth of *Impatiens parviflora*. *New Phytology* 90, 127-150.

PEREIRA B.A.S., SILVA M.A. E MENDONÇA R.C. (1993). Reserva Ecológica do IBGE (Brasília, DF): lista das plantas vasculares. IBGE, Brasília, DF.

PEREIRA B.A.S., FURTADO P.P., MENDONÇA R.C. E ROCHA G.I. (1989). Reserva Ecológica do IBGE (Brasília, DF): aspectos históricos e fisiográficos. *Boletim Fundação Brás para a Conservação da Natureza* 24, 30-43.

POORTER H. e JONG R. (1999). A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist*, 143, 163-176.

POORTER H., PEPIN S, RIJKERS T., JONG Y., EVANS J.R., KORNER C.(2006). Construction costs, chemical composition and payback time of high- and low-irradiance leaves. *Journal of Experimental Botany*, 57, 2, 355–371.

RAMOS, P. C. M. (1989). Estudos fitossociológicos em uma floresta mesofítica semidecídua na Fercal, Brasília-DF. Brasília: UnB, Departamento de Ecologia. Dissertação (Mestrado) 145p.

RATTER, J.A., BRIDGEWATER, S. e RIBEIRO, J.F. (2003). Analysis of the floristic composition of the brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60, 57-109.

RAVEN P.H.; EVERT R.F.; CURTIS H. (1978). Biologia Vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 724 p.

READ J, FARQUHAR G. (1991). Comparative studies in Nothofagus (Fagaceae). I. Leaf carbon isotope discrimination. *Functional Ecology*. 5, 684-695.

REATTO A., MARTINS E. S., FARIAS M. F. R., SILVA A. V., CARVALHO JÚNIOR O. A. (2004). Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p.

REICH P., WALTERS M.B. e ELLSWORTH D.S. (1997). From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 94, 13730–13734.

REICH P.B. (2005). Global biogeography of plant chemistry: filling in the blanks. *New Phytologist* 168, 263–266.

REICH P.B., TJOELKER M.G., MACHADO J.L., OLEKSYN J. (2006). Universal scaling of respiratory metabolism, size and nitrogen in plants. *Nature*. 439, 457–461.

RIBEIRO J. F. (1983). Comparação de concentração de nutrientes na vegetação arbórea e nos solos de um cerrado e um cerradão no Distrito Federal, Brasil. Dissertação. Mestrado em Ecologia, Universidade de Brasília. 87p.

RIBEIRO, J.F. e WALTER, B.M.T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Cerrado: ambiente e flora (Sano S.M. e Aalmeida S.P., orgs.) pp. 89-166. EMBRAPA-Cerrados, Planaltina.

RIZZINI C.T. (1963). A flora do cerrado; analise florística das savanas centrais. In: Simpósio sobre o Cerrado. Pp 117-125. São Paulo. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo.

RODERICK M.L., BERRY S.L. (2001) Linking wood density with tree growth and environment: a theoretical analysis based on the motion of water. *New Phytologist* 149, 473-485.

RUGGIERO, P. G. C.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T. (2002). Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology* 160, 1-16.

SANTIAGO. (2005). Fitossociologia da regeneração arbórea na Mata de Galeria do Pitoco (IBGE-DF), seis anos após fogo acidental. *Scientia Forestalis*. 67, 64-77.

SCHLUTER D. e RICKLEFS R.E. (1993). Species diversity: regional and historical influences. In: Species diversity in ecological communities (R.E. Ricklefs e D. Schuter, eds.). University of Chicago, Chicago, p.350-364.

SHAVER, G.R. e MELILLO, J.M. (1984). Nutrient budgets of marsh plants: Efficiency concepts and relation to availability. *Ecology* 65, 1491-1510.

SILVA JÚNIOR, M.C. (1995). Tree communities of the gallery forests of the IBGE Ecological Reserve. Federal District. Brazil. Tese de Doutorado em Ecologia Florestal. Universidade de Edinburgo, Escócia. 257p.

SILVA JÚNIOR M.C. (2001). Comparação entre matas de galeria no Distrito Federal e a efetividade do código florestal na proteção de sua diversidade arbórea. *Acta Botanica Brasílica*, 15 1, 136-146.

SILVA JÚNIOR, M. C. (2004). Fitossociologia e estrutura diamétrica da mata de galeria do Taquara na reserva ecológica do IBGE, DF. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, 28 3, 419-428.

SILVA P.E.N. (1991). Estado nutricional de comunidades arbóreas de quatro matas de galeria no Brasil Central. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Departamento de Ecologia. 111p.

SILVEIRA, M.L.A. (2005). Dissolved organic carbon and bioavailability of N and P as indicators of soil quality. *Scientia Agricola*, 62 5, 502-508.

SOUZA J.P., ARAÚJO G.M. E HARIDASAN M. (2007). Influence of soil fertility on the distribution of tree species in a deciduous forest in the Triângulo Mineiro region of Brazil. *Plant Ecology*. 191, 253-263.

STEENWERTH K.L., JACKSON L.E., CALDERON F.J. et al. (2005). Response of microbial community composition and activity in agricultural and grassland soils after a simulated rainfall. *Soil biological geochemistry*, 37 12, 2249-2262.

TILMAN D. (1988). Plant strategies and the dynamics of plant communities. Princeton, USA: Princeton University Press. 360 p.

VILLAR R., ROBLETO J.R., JONG Y., POORTER H. (2006). Differences in construction costs and chemical composition between deciduous and evergreen woody species are small as compared to differences among families. *Plant, Cell and Environment* 29, 1629–1643.

WATAB A.A., REUVENI M., BRESSAN R.A., HASEGAWA P.M. (1991). Enhance net K⁺ uptake capacity of NaCl-adapted cells. *Plant Physiology*, 95 4, 1265-1269.

WATANABE T., BROADLEY M.R., JANSEN S., WHITE P.J., TAKADA J., SATAKE K., TAKAMATSU T., TUAH S.J., OSAKI M. (2007). Evolutionary control of leaf element composition in plants. *New Phytologist*. 174, 516-523.

WHITE P.J., BROADLEY M.R. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*. 92, 487–511.

WHITMORE T.C. (1998). An Introduction to Tropical Rain Forest, 2nd edn. Oxford University Press, Oxford. 256 p.

WRIGHT I.J., REICH P.B., WESTOBY M. (2001). Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. *Functional Ecology* 15, 423–434.

ZARR J. (1999). Biostatistical Analysis. (River N.J. ed.) pp. 87–89, Prentice-Hall, 146-153.

ZINN Y.L., LAL R., RESCK D.V.S. (2005). Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, Holanda, 127, 168-173.