

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE



# CERRADO:

ECOLOGIA, BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO



Organizadores  
*Aldicir Scariot*  
*José Carlos Sousa-Silva*  
*Jeanine Maria Felfili*



# Cerrado:

**Ecologia, Biodiversidade e Conservação**



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

# Cerrado:

## Ecologia, Biodiversidade e Conservação

**Organizadores**

*Aldcir Scariot*

*José Carlos Sousa-Silva*

*Jeanine M. Felfeli*

**Brasília-DF**  
**2005**

Este livro foi editado e impresso com apoio da Diretoria de Conservação da Biodiversidade Brasileira – DCBio e do Projeto de Conservação e de Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO.

### **VEDADA A COMERCIALIZAÇÃO**

Revisão em língua portuguesa e preparo de originais:

**Maria Beatriz Maury de Carvalho**

Acompanhamento editorial e revisão final:

**Cilulia Maury – PROBIO**

Projeto gráfico e diagramação:

**José Miguel dos Santos**

ISBN 85-87166-81-6

CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação/Aldicir Scariot,  
José Carlos Sousa-Silva, Jeanine M. Felfili (Organizadores).  
Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005

439 p:il

1. Cerrado. 2. Meio Ambiente. 3. Biodiversidade 4. Ecologia. 5.  
Conservação I. Título.

Ministério do Meio Ambiente – MMA  
Centro de Informação e Documentação Luis Eduardo Magalhães – CID Ambiental  
Esplanada dos Ministérios – Bloco B – térreo  
70068-9000 – Brasília-DF  
Tel.: 5561 - 4009-1235  
Fax.: 5561 - 3224-5222  
Email: cid@mma.gov.br

## APRESENTAÇÃO

---

É com muita satisfação que apresento o livro Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação, uma formidável contribuição de 46 pesquisadores e revisores, todos eles empenhados em desvendar as peculiaridades, belezas e a diversidade biológica dos cerrados brasileiros.

Desde o início da minha gestão frente ao Ministério do Meio Ambiente, tenho procurado abrir caminhos para que o Cerrado ocupe o lugar que merece entre os biomas brasileiros, e deixe de ser visto apenas como uma região a ser ocupada pela expansão agrícola e, simultaneamente, por uma ocupação urbana desordenada.

Assim, em 2004 o MMA lançou o Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado – Programa Cerrado Sustentável, cujo objetivo geral é promover condições para reverter o empobrecimento socioambiental deste bioma.

Esse Programa foi desenvolvido pelo Grupo de Trabalho do Bioma Cerrado (GT Cerrado), instituído pela Portaria MMA nº 361, de 12 de setembro de 2003. Tais iniciativas fortaleceram e sedimentaram também o Núcleo dos Biomas Cerrado e Pantanal (NCP), vinculado à Secretaria de Biodiversidade e Florestais, criado em 1994, que tem como sua principal atribuição articular e propiciar a execução de iniciativas voltadas para a conservação e o uso sustentável destes dois biomas tão profundamente entrelaçados, junto aos projetos e programas em execução no Ministério do Meio Ambiente, além de ser um ponto para interlocução com a sociedade civil organizada.

Apoiar a publicação deste livro é acrescentar mais uma ação às anteriores, uma oportunidade de disponibilizar informações preciosas nele contidas a todos interessados, pesquisadores, estudantes, ao público em geral, o que muito me alegra.

Aproveito esta oportunidade para cumprimentar os autores e unir-me a eles nas homenagens aos pioneiros professores George Eiten e James Alexander Ratter, que tanto contribuíram para o conhecimento de vegetação do Cerrado, ao professor Leopoldo Magno Coutinho e à professora Maria Lea Salgado Labouriau que, com suas ousadas observações sobre o impacto do fogo muito acrescentaram, entre outras contribuições relevantes, para a percepção do papel deste elemento na dinâmica desse bioma.

***Marina Silva***

Ministra do Meio Ambiente



Pela sua contribuição incomparável para a ecologia do Cerrado, os editores, os autores e a equipe do Ministério do Meio Ambiente prestam homenagens a:

### **George Eiten**

Nasceu em Morristown, EUA e é professor aposentado do Departamento de Botânica da Universidade de Brasília – UnB. George Eiten é pesquisador em ecologia vegetal, sendo bastante conhecido pelo seu artigo de 1972, “The cerrado vegetation of Brazil”. Esse artigo conceitua termos ambientais e estruturais da vegetação do Cerrado, suas comunidades, fatores influenciadores como o solo, fogo, clima, e apresenta o primeiro modelo para explicar as diferenças fisionômicas observadas entre as fitofisionomias do Cerrado. É autor de outros trabalhos clássicos que, no seu todo, estão hoje entre os mais citados na literatura do bioma.

### **James Alexander Ratter**

Ecólogo vegetal e pesquisador aposentado do Royal Botanic Garden Edinburgh, da Escócia, trabalhou por mais de 35 anos com a vegetação do Cerrado. Em 1967, ele foi um dos integrantes da expedição da Royal Botanical Society e Royal Geographical Society na área nordeste de Mato Grosso. Em 1971, ele e a equipe reconheceram as diferenças ecológicas entre cerradões e a floresta estacional, fazendo as primeiras correlações com fatores edáficos determinantes e reconhecendo espécies indicadoras. Seus estudos iniciaram as análises quantitativas da vegetação do bioma. Recentemente, o professor Ratter tem analisado padrões fitogeográficos das comunidades vegetais junto ao projeto Conservação e Manejo da Biodiversidade do Bioma Cerrado CMBBC/DFID (Reino Unido), visando à definição de estratégias para manejo e conservação da sua biodiversidade.

### **Leopoldo Magno Coutinho**

Professor aposentado do Departamento de Ecologia da Universidade de São Paulo-USP, onde ministrou vários cursos de graduação e pós-graduação, assim como orientou várias teses de mestrado e doutorado. Ele foi o primeiro ecólogo a usar a abordagem ecossistêmica no estudo do Cerrado, pesquisando a produtividade primária e o ciclo de nutrientes. A partir de 1977, o professor Coutinho também dedicou grande parte de seu tempo a estudos sobre o impacto do fogo na vegetação do Cerrado. A grande variedade de trabalhos desenvolvidos pelo professor Coutinho gerou discussão e estimulou várias questões abordadas na ecologia do Cerrado.

## **Maria Lea Salgado Labouriau**

É conhecida por ter criado as bases para a pesquisa paleoecológica no Brasil e, particularmente, no Cerrado. É atualmente professora no Instituto de Geociências na Universidade de Brasília-UnB. A partir de 1960 a professora Labouriau deu início ao mais novo catálogo de polens preparado para o Cerrado, proporcionando assim o rápido desenvolvimento das pesquisas paleoecológicas nesse ambiente. As pesquisas da professora Labouriau estão entre as primeiras a demonstrar que os períodos secos ocorridos no Cerrado tiveram caráter mais amplo, atingindo toda a América do Sul. Ela foi também uma das pioneiras no estudo do fogo ao longo da história da vegetação do Cerrado. Atualmente, tem trabalhado no refinamento dos estudos das modificações climáticas e vegetacionais no Cerrado, particularmente do fogo.

## Autores e Revisores

---

### Autores

Adriana Reatto – reatto@cpac.embrapa.br  
Aldicir Scariot – scariot@cenargen.embrapa.br  
Alexandre R. T. Palma – artpalma@unb.br  
Anderson C. Sevilha – sevilha@cenargen.embrapa.br  
Augusto César Franco – acfranco@unb.br  
Bárbara F. D. Leão - barbaraleao@yahoo.com.br  
Carlos César Ronquim –  
Carlos E. Pinheiro - cegp@unb.br  
Carlos H. B. de Assis Prado - dchb@power.ufscar.br  
Claudia Padovesi Fonseca - padovesi@unb.br  
Cleber J. R. Alho - alho@unb.br  
Cristiane G. Batista – cristiane@mrs.com.br  
Éder de Souza Martins – eder@cpac.embrapa.br  
Emerson M. Vieira - vieira@cirrus.unisinos.br  
G. Wilson Fernandes – gwilson@icb.ufmg.br  
Geraldo W. Fernandes - gwilson@icb.ufmg.br  
Guarino R. Colli - grcolli@unb.br  
Helena C. Morais - morais@unb.br  
Heloisa S. Miranda - hmiranda@unb.br  
Ivone Rezende Diniz – irdiniz@unb.br  
James Alexander Ratter - s.bridgewater@rbge.org.uk  
Jean François Timmers – florabrasil@sulbanet.com.br  
Jeanine Maria Felfili - felfili@unb.br  
Jorge E. F. Werneck Lima – jorge@cpac.embrapa.br  
José Carlos Sousa Silva – jcarlos@cpac.embrapa.br  
José Felipe Ribeiro - felipe.ribeiro@embrapa.br  
José Maria Cardoso – j.silva@conservation.org.br  
Ludmila M. S. Aguiar – ludmilla@cpac.embrapa.br  
Luzitano B. Ferreira - luzitano@directnet.com.br  
Manoel Cláudio da Silva Júnior – mcsj@unb.br  
Marcos Pérsio Dantas Santos - persio@ufpi.br  
Margarete Naomi Sato - nsato@unb.br  
Maria Lea Salgado-Labouriau - mlea@unb.br  
Mariana Cristina Caloni Perón  
Miguel T. Urbano Rodrigues - mturadri@usp.br  
Mundayatan Haridasan - hari@unb.br  
Raimundo P. B. Henriques - henriq@unb.br  
Reginaldo Constantino - constant@unb.br  
Reuber A. Brandão – reuberbrandao@yahoo.com.br  
Ricardo B. Machado – r.machado@conservation.org.br  
Roberto Cavalcante - rbcav@unb.br  
Rosana Tidon – rotidon@unb.br  
Denise F. Leite - nisefleite@hotmail.com  
Samuel Bridgewater - s.bridgewater@rbge.org.uk  
Silmary J. Gonçalves-Alvim – silmaryalvim@uol.com.br  
Vânia R. Pivello - vrpivel@ib.usp.br  
William A. Hoffmann - william-hoffmann@ncsu.edu

### Revisão Técnica

Adelmar Gomes Bandeira  
Amabilio José Aires de Camargo  
Alexandre Francisco da Silva  
Aldicir Scariot  
Ary Teixeira de Oliveira Filho  
Augusto César Franco  
Carlos E. G. Pinheiro  
Carlos H. B. A. Prado  
Claudia Padovesi Fonseca  
Christopher W. Fagg  
Divino Brandão  
Edson Junqueira  
Edson Ryoiti Sujii  
Eduardo Arcoverde de Mattos  
Fabio Scarano  
Glein Monteiro  
Guarino R. Colli  
Helena C. Morais  
Hussan El Dine Zaher  
Humberto Santos  
Ivan Schiavini  
Jeanine Maria Felfili  
João Augusto A. Meira Neto  
John D. Hay  
José Carlos Sousa Silva  
José Maria Cardoso da Silva  
José Roberto R. Pinto  
José Roberto Pujol-Luz  
Jucelino A. Azevedo  
Keith S. Brown Jr.  
Leandro G. Oliveira  
Leopoldo M. Coutinho  
Ludmila M. S. Aguiar  
Maria Lucia Meirelles  
Miguel A. Marini  
Miguel Trefaut Rodrigues  
Mundayatan Haridassan  
Nabil J. Eid  
Nilton Fiedler  
Paulo César Motta  
Paulo Eugenio A. M. de Oliveira  
Raimundo Paulo Barros Henriques  
Reginaldo Constantino  
Ricardo B. Machado  
Rosana Tidon  
Silvio T. Spera  
Vânia R. Pivello  
Vitor Osmar Becker



O conhecimento das causas e conseqüências da destruição, fragmentação e depauperamento dos *habitats* naturais é fundamental para a compreensão e conservação de amostras funcionais representativas dos ecossistemas naturais e dos recursos biológicos. Dentre os ecossistemas tropicais que sofrem com aceleradas taxas de destruição destaca-se o Cerrado, esta vasta região do Brasil. Embora seja o segundo bioma brasileiro em extensão, cobrindo quase um quarto do território nacional, sua biodiversidade ainda é pouco conhecida, o que parece irônico, pois se trata da mais rica e ameaçada savana tropical do planeta.

O conhecimento sobre o Cerrado vem sendo acumulado, porém o que é conhecido e a capacidade em transformar o conhecimento em ações práticas tem sido muito inferior à velocidade em que este bioma está desaparecendo. Diferente de outros biomas brasileiros, como a Amazônia e a Floresta Atlântica, nem mesmo a proporção de *habitats* naturais do Cerrado é conhecida. A paisagem natural do Cerrado, manifestada em muitas fisionomias de vegetação que hospedam espécies endêmicas, conhecimentos tradicionais, culturas particulares e cenários deslumbrantes está rapidamente sendo transformada em monoculturas de soja e algodão e pastagens para gado. A facilidade com que a vegetação pode ser removida, em comparação àquelas de outros biomas, clima e solos propícios à agricultura e pecuária, juntamente à falta de ordenamento na ocupação da paisagem e uso dos recursos naturais poderá trazer conseqüências desastrosas. Não somente a biodiversidade será afetada em sua composição, mas também os serviços advindos de ecossistemas, como a ciclagem de nutrientes, a recarga dos aquíferos e o fluxo das águas, dentre muitos outros, comprometendo a qualidade de vida das populações e a sustentabilidade das atividades econômicas e sociais da região.

Este livro está organizado em quatro seções principais: *Determinantes Abióticos*, *Comunidades de Plantas*, *Comunidades de Animais*, e *Conservação*. Na primeira seção são apresentados textos sobre solos, hidrologia, palinologia e as queimadas no Cerrado. Na segunda seção, os textos tratam da biodiversidade, composição e estrutura da vegetação, comparações ecológicas entre espécies e ecofisiologia de plantas. Na terceira e maior seção, textos tratando da biodiversidade, distribuição, biogeografia, caracterização da fauna do Cerrado e comparações entre áreas protegidas e não protegidas são apresentados. Este volume é finalizado com a quarta seção, composta de textos com perspectivas e desafios para a conservação e manejo dos recursos naturais do Cerrado.

Esta publicação é uma amostra da capacidade dos pesquisadores, demonstrada em suas pesquisas no Cerrado, baseada na perseverança e dedicação de muitos que acreditam que é possível trilhar um caminho diferente daquele com base unicamente na destruição dos ecossistemas naturais. A informação sobre os ecossistemas e espécies do Cerrado ainda é necessária, assim como ações que efetivamente garantam

amostras significativas e funcionais desse bioma às gerações futuras e um uso racional dos recursos naturais existentes, com respeito às sociedades dessa região. É nosso desejo e esperança que a informação aqui contida seja útil para a promoção da pesquisa e formas mais sustentáveis de utilização dos recursos do bioma Cerrado.

*Aldicir Scariot*  
*José Carlos Sousa-Silva*  
*Jeanine M. Felfili*  
*(Organizadores)*

<b>Apresentação</b> .....	V
<b>Homenageados</b> .....	VII
<b>Autores e Revisores</b> .....	IX
<b>Introdução</b> .....	XI
<b>Capítulo síntese</b> .....	25
<b>PARTE I – Determinantes abióticos</b>	
<b>Capítulo 1.</b> Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado.....	47
<b>Capítulo 2.</b> Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. ....	61
<b>Capítulo 3.</b> Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma Cerrado. ....	73
<b>Capítulo 4.</b> Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. ....	93
<b>Capítulo 5.</b> Alguns aspectos sobre a Paleoecologia dos cerrados. ....	107
<b>PARTE II – Comunidades de plantas</b>	
<b>Capítulo 6.</b> Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado. ....	121
<b>Capítulo 7.</b> Diversidade alfa e beta no cerrado <i>strictu sensu</i> , DF, GO, MG e BA. ....	141
<b>Capítulo 8.</b> Ecologia comparativa de espécies lenhosas de cerrado e de mata. ....	155
<b>Capítulo 9.</b> Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado. ....	167
<b>Capítulo 10.</b> Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado. ....	179
<b>Capítulo 11.</b> Balanço de carbono em duas espécies lenhosas de Cerrado cultivadas sob irradiação solar plena e sombreadas. ....	197
<b>PARTE III – Comunidades de animais</b>	
<b>Capítulo 12.</b> A importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros. ....	219
<b>Capítulo 13.</b> A biodiversidade dos cerrados: conhecimento atual e perspectivas, com uma hipótese sobre o papel das matas galerias na troca faunística durante ciclos climáticos. ....	235
<b>Capítulo 14.</b> As origens e a diversificação da herpetofauna do Cerrado. .	247
<b>Capítulo 15.</b> Pequenos mamíferos de Cerrado: distribuição dos gêneros e estrutura das comunidades nos diferentes <i>habitats</i> . ....	265
<b>Capítulo 16.</b> Biodiversidade de insetos galhadores no Cerrado. ....	283

<b>Capítulo 17.</b> Estudos comparativos sobre a fauna de borboletas do Distrito Federal: implicações para a conservação. ....	295
<b>Capítulo 18.</b> Abundância e amplitude de dieta de lagartas (Lepidoptera) no cerrado de Brasília (DF) .....	305
<b>Capítulo 19.</b> Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado. ....	319
<b>Capítulo 20.</b> Drosofilídeos (Diptera, Insecta) do Cerrado. ....	335
<b>Capítulo 21.</b> A complexidade estrutural de bromélias e a diversidade de artrópodes, em ambientes de campo rupestre e mata de galeria no Cerrado do Brasil Central. ....	353
<b>PARTE IV – Conservação</b>	
<b>Capítulo 22.</b> Desafios para a conservação do cerrado face às atuais tendências de uso e ocupação. ....	367
<b>Capítulo 23.</b> Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal. ....	383
<b>Capítulo 24.</b> Manejo de fragmentos de Cerrado visando a conservação da biodiversidade. ....	401
<b>Capítulo 25.</b> Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado.	415
<b>Capítulo 26.</b> Perspectivas e desafios para conservar a biodiversidade do Cerrado no século 21 .....	431

## Lista de Figuras

### PARTE I – Determinantes abióticos

#### Capítulo 1

##### Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado

<b>Figura 1.</b> Fatores de formação de solo e pedogênese .....	49
<b>Figura 2.</b> Índices pluviométricos do bioma Cerrado .....	55
<b>Figura 3.</b> Fluxograma de identificação dos controles da paisagem das classes Neossolo Quartzarênico e Latossolos .....	56
<b>Figura 4.</b> Fluxograma de identificação dos controles da paisagem das classes de solos com B textural e B incipiente .....	56
<b>Figura 5.</b> Fluxograma de identificação dos controles da paisagem das classes de solos sob ambiente de hidromorfismo .....	57

#### Capítulo 2

##### Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado Brasileiro

<b>Figura 1.</b> Representação dos limites do Cerrado em relação às grandes bacias hidrográficas do Brasil. ....	65
<b>Figura 2.</b> Distribuição espacial da precipitação média anual no Cerrado.	66
<b>Figura 3.</b> Estações utilizadas no trabalho, numeradas de 1 a 34, e suas respectivas áreas de Cerrado, diferenciadas por cores, de acordo com a bacia hidrográfica em que estão inseridas. ....	67

### Capítulo 3

#### **Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma Cerrado.**

- Figura 1.** Distribuição geográfica do bioma do Cerrado no Brasil. As áreas disjuntas nos outros biomas adjacentes são indicadas. .... 77
- Figura 2.** Diagrama de bloco da distribuição das fisionomias de cerrado *sensu lato* em relação à profundidade do solo na vertente de um vale. .... 78
- Figura 3.** Distribuição dos valores de saturação de bases (%) e razão  $k_i$  nas áreas com cerrado *sensu lato* e florestas estacionais no Brasil central. .... 80
- Figura 4.** Ocorrência potencial das fisionomias de cerrado *sensu lato* em função da profundidade e do conteúdo de água na superfície do solo no fim da estação seca. Cc – capacidade de campo; Pm – ponto de murchamento; CL – campo limpo; CS – campo sujo; C<sub>ss</sub> – cerrado *sensu stricto*; CD – cerradão. .... 82
- Figura 5.** Representação da hipótese de Lund (1835) do efeito do fogo na evolução da vegetação no bioma dos cerrados. O fogo transforma o cerradão em cerrado, que pela continuidade do fogo é substituído pelo campo, que pode ser mantido pelo fogo periódico. .... 82
- Figura 6.** Esquema dos efeitos do fogo nos processos que determinam a fisionomia aberta na vegetação dos cerrados. As setas mais grossas indicam os principais processos. .... 84
- Figura 7.** Modelo conceitual de sucessão e regressão das fisionomias dos cerrados, em função da profundidade do solo e do fogo no Brasil central. .... 87

### Capítulo 5

#### **Alguns aspectos sobre a Paleoeologia dos Cerrados**

- Figura 1.** Cronologia das mudanças do clima durante os últimos 36 mil anos. À esquerda, seqüência das mudanças nos altos Andes tropicais. No centro, mudanças do clima em sete áreas de cerrado. À direita, mudanças em duas áreas de mata dentro da região de cerrados. Modificado de Salgado-Labouriau (1997). .... 113

## Parte II - Comunidades de plantas

### Capítulo 6

#### **Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado.**

- Figura 1.** Localização geográfica da bacia do rio Paranã (GO e TO) e distribuição das Florestas Estacionais Decíduais no Brasil (IBGE 1983) e suas respectivas classes de solos de ocorrência (EMBRAPA 1981) na escala de 1:5.000.000, segundo o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA 1999). 125

<b>Figura 2.</b> Classificação pelo método de TWINSpan de 11 fragmentos de Floresta Estacional Decidual Submontana intactos (i) e explorados (e) em áreas de planaltos (p) e afloramentos calcários (ac) no município de São Domingos, Vale do Paranã (GO), em áreas amostradas nas fazendas São Domingos (SD), Flor do Ermo (FE), Traçadal (FT), Olho d'Água (OA), Manguinha (FM), Cruzeiro do Sul (CS), São Vicente (SV), Canadá (FC) e São José (SJ). .....	133
--	-----

## Capítulo 7

### **Diversidade alfa e beta no cerrado sentido restrito, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia**

<b>Figura 1.</b> Principais Unidades Fisiográficas do Brasil Central estudadas .	144
<b>Figura 2.</b> Locais de estudo em destaque nos Sistemas de terra nas Unidades Fisiográficas estudadas. ....	145
<b>Figura 3.</b> Diversidade beta expressa pelo posicionamento das 15 áreas de cerrado sensu stricto nos eixos de ordenação pelo método DECORANA. ....	151

## Capítulo 8

### **Ecologia comparativa de espécies lenhosas de cerrado e de matas.**

<b>Figura 1.</b> Comparação da resposta ao fogo de espécies de mata e de cerrado	159
<b>Figura 2.</b> Comparação da espessura da casca de dez pares de espécies de cerrado e mata de galeria. ....	160
<b>Figura 3.</b> A) Razão raiz/parte aérea de espécies de cerrado e de mata. B) Alturas de plântulas de espécies de cerrado e de mata C) Razão de área foliar (área foliar por unidade de peso total da planta) de espécies de cerrado e de mata. ....	161

## Capítulo 9

### **Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado**

<b>Figura 1.</b> Relação entre a biomassa e o número de árvores das 35 espécies em um cerrado em Latossolo Vermelho no Distrito Federal (Silva, 1990). ....	174
<b>Figura 2.</b> Compartilhamento da biomassa aérea entre as 35 espécies arbóreas em um cerrado em Latossolo Vermelho no distrito Federal (Silva, 1990) .....	174
<b>Figura 3.</b> Densidade relativa das 35 espécies arbóreas em um cerrado em Latossolo Vermelho no Distrito Federal (Silva, 1990) .....	175
<b>Figura 4.</b> Relação entre a concentração foliar de nutrientes e o número de árvores das 35 espécies em um cerrado em Latossolo Vermelho no Distrito Federal (Silva, 1990). ....	176

## Capítulo 10

### **Biodiversidade de forma e função: implicações ecofisiológicas das estratégias de utilização de água e luz em plantas lenhosas do Cerrado.**

<b>Figura 1.</b> Variações sazonais na porcentagem de folhas em ramos de 10 indivíduos de <i>Caryocar brasiliense</i> (A) e <i>Myrsine guianensis</i> (B) em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> da Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. ....	187
<b>Figura 2.</b> Variação da taxa de assimilação líquida de CO <sub>2</sub> em função da densidade de fluxo de fótons na faixa fotossinteticamente ativa (DFF) em folhas de <i>Blepharocalyx salicifolius</i> (3 folhas) e <i>Sclerolobium paniculatum</i> (2 folhas) em condições naturais em um cerrado da Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. ....	189
<b>Figura 3.</b> Eficiência fotossintética em resposta a variações na densidade de fluxo de fótons na faixa fotossinteticamente ativa (DFF) de folhas de indivíduos jovens de <i>Qualea grandiflora</i> em uma área de campo sujo e de cerradão na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. ....	191

## Capítulo 11

### Balço de carbono em duas espécies lenhosas jovens de Cerrado cultivadas sob irradiao solar plena e sombreadas

<b>Figura 1.</b> Curso diário do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) nos locais onde as plantas jovens de <i>Cybistax antisyphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> foram cultivadas. ....	202
<b>Figura 2.</b> Fotossíntese líquida (A) expressa em área ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em folíolos totalmente expandidos de <i>Cybistax antisyphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> aos 240 e 360 dias após a semeadura (DAS), cultivadas sob sol. ....	206
<b>Figura 3.</b> Fotossíntese líquida (A) expressa em massa ( $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em folíolos totalmente expandidos de <i>Cybistax antisyphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> aos 240 e 360 dias após a semeadura (DAS), cultivadas sob sol. ....	206
<b>Figura 4.</b> Valores médios (colunas) e desvio padrão (linhas acima das colunas) da área foliar total, massa específica foliar (MEF), razão da área foliar (RAF) e número de folíolos das espécies lenhosas jovens <i>Cybistax antisyphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> aos 240 e 360 dias após a semeadura (DAS), cultivadas sob sombra e sob pleno sol. ....	208
<b>Figura 5.</b> Valores médios e desvio padrão da massa seca total, altura, diâmetro do caule e razão da massa seca raiz/parte aérea das espécies lenhosas jovens <i>Cybistax antisyphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> aos 240 e 360 dias após a semeadura (DAS), cultivadas sob sombra e sob pleno sol. ....	209
<b>Figura 6.</b> Fotossíntese líquida expressa em área ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em função da concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico em folíolos totalmente expandidos de plantas jovens de <i>Cybistax antisyphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> aos 240 e 360 dias após a semeadura (DAS), cultivadas sob pleno sol e sob sombra. ....	210
<b>Figura 7.</b> Fotossíntese líquida expressa em massa ( $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) em função da concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico em folíolos totalmente	

expandidos de plantas jovens de <i>Cybistax antisiphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> aos 240 e 360 dias após a semeadura (DAS), cultivadas sob sol e sob sombra. ....	210
<b>Figura 8.</b> Fotossíntese líquida expressa em área ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em função da concentração interna de $\text{CO}_2$ ( $C_i$ ) em folíolos totalmente expandidos de plantas jovens de <i>Cybistax antisiphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> aos 240 e 360 dias após a semeadura (DAS), cultivadas sob pleno sol e sob sombra. ....	212

### PARTE III – Comunidades de animais

#### Capítulo 12

##### **A importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros**

<b>Figura 1.</b> O bioma do Cerrado no contexto da América do Sul. Note a posição central do Cerrado no continente .....	222
<b>Figura 2.</b> Localidades de amostragem de aves no Cerrado: (a) todas as localidades e (b) somente as localidades consideradas como “minimamente amostradas” (modificado a partir de Silva 1995c).	226
<b>Figura 3.</b> Curvas de descobrimento de espécies de aves dependentes, semidependentes e independentes de floresta no bioma do Cerrado (curvas geradas a partir do apêndice 1 de Silva, 1995b, com informações novas apresentadas neste capítulo). ....	227
<b>Figura 4.</b> A contribuição relativa da produção de espécies (especiação intra-regional) e intercâmbio biótico (colonização de uma região por espécies de biomas adjacentes) na diversidade regional de aves em cinco grandes biomas brasileiros: Amazônia, Floresta Atlântica, Cerrado, Caatinga e Pantanal. ....	230

#### Capítulo 13

##### **A biodiversidade dos Cerrados: conhecimento atual e perspectivas, com uma hipótese sobre o papel das matas galerias na troca faunística durante ciclos climáticos.**

<b>Figura 1:</b> Esquema hipotético para explicar o possível papel assimétrico desempenhado pelas matas de galeria no enriquecimento faunístico de áreas florestadas durante ciclos climáticos. ....	243
--	-----

#### Capítulo 14

##### **As origens e a diversificação da herpetofauna do Cerrado**

<b>Figura 1.</b> Cladograma de áreas, obtido através de Análise de Parsimônia de Endemismos de 213 espécies de lagartos em 32 localidades neotropicais .....	258
--	-----

#### Capítulo 15

##### **Pequenos mamíferos de Cerrado: distribuição dos gêneros e estrutura das comunidades nos diferentes *habitats*.**

<b>Figura 1.</b> Mapa do Brasil central com a localização das áreas amostradas.	269
<b>Figura 2.</b> Número de gêneros e espécies de pequenos mamíferos capturados em sítios na região do Cerrado. ....	272
<b>Figura 3.</b> Abundância relativa média dos gêneros de pequenos mamíferos em função da frequência de ocorrência. ....	272
<b>Figura 4.</b> Relação entre cada tipo de <i>habitat</i> e a média dos índices de riqueza. ....	273
<b>Figura 5.</b> Resultados da Análise de Correspondência Não-tendenciada (DCA) para os sítios amostrados. ....	273

## Capítulo 16

### Biodiversidade de insetos galhadores no Cerrado

<b>Figura 1.</b> Influência da riqueza de espécies de Leguminosae, do conteúdo de nutrientes (MO, P, K, Mg e Fe) e da capacidade total de troca de cátions (CTC) do solo sobre a riqueza de insetos galhadores (índices de correlação de Pearson <sup>P</sup> e Spearman <sup>S</sup> ). ....	289
---	-----

## Capítulo 17

### Estudos comparativos sobre a fauna de borboletas do Distrito Federal: implicações para a conservação

<b>Figura 1.</b> Dendrogramas baseados na similaridade da fauna de borboletas em seis áreas de conservação (PNB, EEAE, EEJB, IBGE, FAL e RCO) e em três áreas “não protegidas” do Distrito Federal. ....	300
--	-----

## Capítulo 18

### Abundância e amplitude de dieta de lagartas (Lepidoptera) no cerrado de Brasília (DF)

<b>Figura 1.</b> Porcentagem de espécies de Lepidoptera (n = 302) monófagas (uma espécie de planta), oligófagas (um gênero ou uma família) e polífagas (mais de uma família) no cerrado do Distrito Federal.	312
<b>Figura 2.</b> Porcentagem de espécies polífagas em diferentes famílias de Lepidoptera, em cerrado <i>sensu stricto</i> do Distrito Federal. ....	314

## Capítulo 19

### Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado

<b>Figura 1.</b> Distribuição do esforço de inventário de cupins no Cerrado e algumas savanas amazônicas. ....	324
<b>Figura 2.</b> Composição taxonômica da fauna de cupins de cinco áreas de cerrado. ....	328
<b>Figura 3.</b> Composição de grupos funcionais na fauna de cupins de cinco áreas de cerrado. ....	328
<b>Figura 4.</b> Dois padrões comuns de distribuição geográfica de espécies de cupins no Cerrado. ....	330

## Capítulo 21

### **A complexidade estrutural de bromélias e a diversidade de artrópodes, em ambientes de campo rupestre e mata de galeria no Cerrado do Brasil Central**

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros) no estado de Goiás, Brasil. ....	357
<b>Figura 2.</b> Número cumulativo de espécies de artrópodos em função do número de bromélias examinadas na área de campo rupestre do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO). ....	359
<b>Figura 3.</b> Número cumulativo de espécies de artrópodos em função do número de bromélias examinadas na área de mata de galeria do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO). ....	360
<b>Figura 4.</b> Análise discriminante canônica realizada com as medidas morfométricas de quatro espécies de bromélias nas áreas de campo rupestre e mata de galeria do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO). ....	361
<b>Figura 5.</b> Relação entre a abundância de indivíduos (Log) e o diâmetro do copo das bromélias nas áreas de amostragem do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO). ....	361

## Capítulo 23

### **Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal**

<b>Figura 1.</b> Estimativa de ocupação do Cerrado em 1996 (Sano et al., 2001)	386
<b>Figura 2.</b> Evolução da produção de grãos em toneladas na área do domínio do bioma Cerrado. Fonte: Embrapa Cerrados - Palestra Institucional. ....	391

## PARTE IV – Conservação

### Capítulo 25

#### **Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado**

<b>Figura 1.</b> Esquema geral do gradiente longitudinal de zonas úmidas do bioma Cerrado .....	422
---	-----

## Lista de Tabelas

### PARTE I – Determinantes Abióticos

#### Capítulo 1

#### **Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado**

<b>Tabela 1.</b> Relações entre cor do solo associado às classes de solo e os controles geológicos, geomorfológicos, climático, hídricos, e fitofisionômicos da paisagem. ....	58
--	----

## Capítulo 2

### Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado Brasileiro

<b>Tabela 1.</b> Análise dos dados hidrométricos das estações sob influência do bioma Cerrado. ....	68
<b>Tabela 2.</b> Estimativa da vazão gerada na região de Cerrado sem cobertura das estações fluviométricas utilizadas. ....	69
<b>Tabela 3.</b> Produção hídrica do Cerrado por bacia hidrográfica. ....	69

## Capítulo 5

### Alguns aspectos sobre a Paleocologia dos Cerrados

<b>Tabela 1.</b> Distribuição dos gêneros das famílias mais freqüentes de Angiospermas na região dos cerrados. Baseada na lista dada por Mendonça <i>et al.</i> (1998) .....	111
--	-----

## Parte II - Comunidades de plantas

### Capítulo 6

#### Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado.

<b>Tabela 1.</b> Distribuição do volume de precipitação e da temperatura média por Estado de ocorrência das Florestas Estacionais Decíduais no Brasil. ....	126
<b>Tabela 2.</b> Estrutura da comunidade de árvores de Floresta Estacional Decidual Submontana de fragmentos intactos (i) e explorados (e) em planaltos (p) e afloramentos calcários (ac) no município de São Domingos, Vale do Paranã (GO), em áreas amostradas nas fazendas São Domingos (SD), Flor do Ermo (FE), Traçadal (FT), Olho d'Água (OA), Manguinha (FM), Cruzeiro do Sul (CS), São Vicente (SV), Canadá (FC) e São José (SJ). ....	131
<b>Tabela 3.</b> Rol e posição das 10 espécies arbóreas mais importantes em valor de importância (VI) amostradas em fragmentos de Floresta Estacional Decidual Submontana, São Domingos, Vale do Paranã, GO, em áreas amostradas nas fazendas São Domingos (SD), Flor do Ermo (FE), Traçadal (FT), Olho d'Água (OA), Manguinha (FM), Cruzeiro do Sul (CS), São Vicente (SV), Canadá (FC) e São José (SJ). ....	132

### Capítulo 7

#### Diversidade alfa e beta no cerrado sentido restrito, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia

<b>Tabela 1.</b> Latitude, longitude, altitude (m) e precipitação média anual (mm) nos locais de estudo no Brasil Central. ....	146
<b>Tabela 2.</b> Riqueza de espécies e diversidade alfa da flora lenhosa do cerrado <i>sensu stricto</i> , incluindo plantas a partir de 5cm de diâmetro a 0.30m do nível do solo, em 15 locais de estudo, inclusos em três Unidades Fisiográficas. ....	149

<b>Tabela 3.</b> Similaridade da flora lenhosa do cerrado <i>sensu stricto</i> , em plantas a partir de 5cm de diâmetro a 0,30m do nível do solo, em 15 locais inclusos em três Unidades Fisiográficas Espigão Mestre do São Francisco, Chapada dos Veadeiros e Chapada Pratinha no Brasil Central. ....	150
--	-----

## Capítulo 9

### Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado

<b>Tabela 1.</b> Disponibilidade de nutrientes em um Latossolo Vermelho (Fazenda Água Limpa, DF) e um Neossolo Quartzarênico (Parque Nacional Grande Sertão Veredas, MG) sob vegetação nativa de cerrado (sentido restrito). ....	171
<b>Tabela 2.</b> Concentrações foliares de nutrientes em espécies arbóreas de um cerrado (sentido restrito) em Latossolo Vermelho no Distrito Federal (Silva, 1990). ....	173

## Capítulo 11

### Balço de carbono em duas espécies lenhosas jovens de Cerrado cultivadas sob irradiação solar plena e sombreadas

<b>Tabela 1.</b> Características químicas do solo utilizado para o crescimento das espécies jovens <i>Cybistax antisiphilitica</i> e <i>Tabebuia chrysotricha</i> . ....	201
<b>Tabela 2.</b> Valores máximos $\pm$ erro padrão da fotossíntese expressa em área .....	207
<b>Tabela 3.</b> Valores máximos $\pm$ erro padrão da fotossíntese líquida em função da concentração de CO <sub>2</sub> expressa em área .....	209

## PARTE III – Comunidades de animais

### Capítulo 12

#### A importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros

<b>Tabela 1.</b> Novas espécies de aves registradas para o bioma Cerrado após a publicação de Silva (1995b). ....	224
---	-----

### Capítulo 14

#### As origens e a diversificação da herpetofauna do Cerrado

<b>Tabela 1 -</b> Matriz utilizada na análise de parsimônia de endemismos baseada na distribuição de 213 espécies de lagartos em 32 localidades neotropicais .....	255
--	-----

## Capítulo 15

### Pequenos mamíferos de Cerrado: distribuição dos gêneros e estrutura das comunidades nos diferentes *habitats*.

Tabela 1. Gêneros de pequenos mamíferos encontrados nos estudos realizados em Cerrado. ....	271
---	-----

## Capítulo 16

### Biodiversidade de insetos galhadores no Cerrado

Tabela 1. Distribuição do número de espécies de insetos galhadores e de espécies vegetais (total e com galhas) nas famílias de plantas predominantes no cerradão, cerrado <i>sensu stricto</i> , campo sujo e canga, no sudeste do Brasil. ....	287
Tabela 2. Matriz de similaridade florística (índice de Sorensen) entre as fisionomias de vegetação amostradas, no sudeste do Brasil. ...	288

## Capítulo 17

### Estudos comparativos sobre a fauna de borboletas do Distrito Federal: implicações para a conservação

Tabela 1. As principais unidades de conservação do Distrito Federal. ....	297
Tabela 2. Número de espécies em vários taxa de borboletas encontradas nos parques, reservas e outras localidades “não protegidas” do Distrito Federal. ....	299

## Capítulo 18

### Abundância e amplitude de dieta de lagartas (Lepidoptera) no cerrado de Brasília (DF)

Tabela 1. Exemplos de espécies de Lepidoptera com local tipo na região dos Cerrados brasileiros (Heppner, 1984, 1995; Thöny, 1997).	310
Tabela 2. Exemplos de espécies e gêneros reconhecidamente novos na fauna de lagartas folívoras considerada neste trabalho (V. O. Becker, com. pes.) e suas plantas hospedeiras. ....	310
Tabela 3. Famílias de Lepidoptera com o número total de espécies, espécies representadas por apenas um adulto, espécies raras (2 a 10 adultos), espécies comuns (mais de 10 adultos) e o número de espécies polífagas entre as raras e as comuns. ....	311
Tabela 4. Exemplos de lagartas polífagas em plantas do cerrado de Brasília e suas amplitudes de dieta. ....	314
Tabela 5. Exemplos de lagartas comuns e monófagas e suas plantas hospedeiras no cerrado da Fazenda Água Limpa, DF. ....	314

## Capítulo 19

### Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado

Tabela 1. Térmitas registrados em vegetação de cerrado e fauna conhecida de algumas regiões ou localidades. ....	325
--	-----

## Capítulo 20

### Drosofilídeos (Diptera, Insecta) do Cerrado

<b>Tabela 1.</b> Relação das espécies de drosofilídeos registradas no Bioma Cerrado .....	339
---	-----

## Capítulo 21

### A complexidade estrutural de bromélias e a diversidade de artrópodes, em ambientes de campo rupestre e mata de galeria no Cerrado do Brasil Central

<b>Tabela 1.</b> Relação das morfoespécies de artrópodes com número de indivíduos encontrados nas bromélias de campo rupestre e mata de galeria do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO).	358
---	-----

## PARTE IV – Conservação

## Capítulo 23

### Ocupação do bioma Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal

<b>Tabela 1.</b> Espécies lenhosas presentes em mais de 50% dos 376 levantamentos comparados [Os valores em parênteses são das porcentagens encontradas respectivamente em levantamentos anteriores Ratter and Dargie (1992) e Ratter <i>et al.</i> (1996)] ....	390
<b>Tabela 2.</b> Transformações na pesquisa, educação e nas políticas públicas propostas para mudar o entendimento sobre o valor ambiental do bioma Cerrado .....	395

## Capítulo 25

### Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado

<b>Tabela 1.</b> Riqueza estimada (ordem de grandeza) de espécies da biota aquática do Cerrado. ....	424
--	-----



# Capítulo Síntese

Biodiversidade,  
ecologia e  
conservação do  
Cerrado: avanços  
no conhecimento.

FOTO: GUARINO COLLI

**Jeanine Maria Felfili**

Departamento de Engenharia Florestal  
Universidade de Brasília - Brasília, DF

**José Carlos Sousa-Silva**

Embrapa Cerrados - Planaltina, DF  
Departamento de Engenharia Florestal - UnB

**Aldicir Scariot**

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia  
Programa das Nações Unidas para o  
Desenvolvimento (PNUD) - Brasília, DF





---

## DIVERSIDADE SOB AMEAÇA

Dentro de um mesmo bioma (Allaby, 1992), os padrões fitogeográficos estão, em geral, vinculados a determinantes físicos como solo, relevo e topografia, que no caso do Brasil Central foram sobrepostos em um zoneamento publicado por Cochrane *et al.* (1985). Estes identificaram um total de 70 sistemas de terra em 25 Unidades Fisiográficas. Um sistema de terras é uma área, ou grupo de áreas, no qual existe um padrão recorrente de clima, paisagem e solos, ou seja, no bioma Cerrado existe uma diversidade de paisagens, tanto constituída por diferentes fisionomias de vegetação vinculadas a fatores físicos e fisiográficos, como por um mesmo tipo de vegetação com distintos padrões de composição florística também relacionadas às condições do meio (Felfili & Silva Júnior, nesta publicação), sugerindo a necessidade de estratégias de manejo e conservação que considerem os padrões recorrentes de paisagens disjuntas ao longo do extenso bioma, que se distribui por mais de 20 graus de latitude.

Esta diversidade de paisagens determina uma grande diversidade florística, que coloca a flora do bioma Cerrado como a mais rica entre as savanas do mundo, com 6.429 espécies já catalogadas (Mendonça *et al.* 1998). A biota, com grande percentual de endemismo na flora, com valores estimados por Silva & Bates (2002), da magnitude de 44% para plantas vasculares, 30% para anfíbios, 20% para répteis, 12% para mamíferos e 1,4% para aves, é resultante de uma longa e dinâmica história evolutiva conforme sugerem Silva & Santos (nesta publicação).

As interfaces com outros biomas são particularmente importantes no Cerrado, pois este se limita com todos os demais biomas de terras baixas da América do Sul conforme salientado por Silva & Santos (nesta publicação), ressaltando-se os ambientes contrastantes como as interfaces entre Cerrado e Caatinga e aquelas entre Cerrado e Florestas Tropicais úmidas.

O Cerrado contém as três maiores bacias hidrográficas sul-americanas. Do ponto de vista hidrológico, por compreender zonas de planalto, a região possui diversas nascentes de rios e, conseqüentemente, importantes áreas de recarga hídrica, que contribuem para grande parte das bacias hidrográficas brasileiras (Lima & Silva, nesta publicação). Seis das oito grandes bacias hidrográficas brasileiras têm nascentes na região: a bacia Amazônica (rios Xingu, Madeira e Trombetas), a bacia do Tocantins (rios Araguaia e Tocantins), a bacia Atlântico Norte/Nordeste (rios Parnaíba e Itaipicuru), a bacia do São Francisco (rios São Francisco, Pará, Paraopeba, das Velhas, Jequitaiá, Paracatu, Urucuaia, Carinhanha, Corrente e Grande), a bacia Atlântico Leste (Rios Pardo e Jequitinhonha) e a bacia dos Rios Paraná/Paraguai (rios Parnaíba, Grande, Sucuriú, Verde, Pardo, Cuiabá, São Lourenço, Taquari, Aquidauana). Com relação à importância relativa do Cerrado no sistema hídrico, este abrange 78% da área da bacia do Araguaia-Tocantins, 47% do São Francisco e 48% do Paraná/Paraguai. A região contribui com 71% da produção hídrica na bacia do Araguaia/Tocantins, 94% no São Francisco e 71% no Paraná/Paraguai (Lima & Silva nesta publicação). O Cerrado, com 24% do território nacional, contribui com 14% da produção hídrica superficial brasileira, mas, quando se exclui a bacia Amazônica da análise, verifica-se que o Cerrado passa a representar 40% da área e 43% da produção hídrica total do restante do país. É de primordial importância, a contribuição hídrica superficial do Cerrado para o Nordeste do Brasil, região freqüentemente assolada por secas. No entanto, as áreas de recarga dos aquíferos estão sendo desmatadas, convertidas em áreas para pastagens e cultivos agrícolas, impermeabilizadas por conglomerados urbanos e sendo utilizadas como fontes para sistemas de irrigação, instalados sem o adequado planejamento.

Por estas razões, inclusive, o Cerrado foi identificado como um dos mais ricos e ameaçados ecossistemas mundiais, um “hot spot” da biodiversidade (Mittermeier *et al.* 1999). Alho (nesta publicação) explica que o conceito de “hot spot” se apóia em duas bases, endemismo e ameaça: as espécies endêmicas são mais restritas em distribuição, mais especializadas e mais susceptíveis à extinção em face das mudanças ambientais provocadas pelo homem, em comparação com as espécies que têm distribuição geográfica ampla. O endemismo de plantas é escolhido como o primeiro critério para definir um “hot spot”, pois estas dão suporte a outras formas de vida. O grau de ameaça é a segunda base do conceito de “hot spot” e é, fortemente, definido pela extensão de ambiente natural perdido, isto é, quando a área perdeu pelo menos 70% de sua cobertura original, onde se abrigavam espécies endêmicas. Nesse mesmo estudo, é sugerido que dos 1.783.200 km<sup>2</sup> originais do Cerrado, restam intactos somente 356.630 km<sup>2</sup>, ou apenas 20% do bioma original, justificando a caracterização desse bioma como “hot spot”.

## DETERMINANTES E PROCESSOS

Os principais fatores considerados responsáveis pelos padrões e processos das comunidades de savanas são estacionalidade climática, disponibilidade hídrica, características edáficas como profundidade, textura e disponibilidade de nutrientes no solo, fogo e herbivoria. No Cerrado, o papel da herbivoria tem sido minimizado pela ausência de grandes populações de herbívoros de grande porte, apesar da

intensa herbivoria por insetos. Henriques (nesta publicação) enfatiza também eventos históricos, dentre os determinantes do Cerrado. Este autor sugere que parte das diferenças observadas entre as fitofisionomias no Cerrado *sensu lato* pode ser explicada pela profundidade e umidade do solo. Devido à capacidade da matéria orgânica em reter nutrientes, os solos das fisionomias com maior cobertura vegetal (cerrado e cerradão) tornam-se mais férteis do que aqueles com menor cobertura (Campo limpo e Campo sujo) , ou seja, a dinâmica da vegetação assegura a sua manutenção.

A antiga hipótese de que a vegetação do Cerrado é uma formação vegetal secundária resultante do corte e queima das florestas pelo homem ainda não foi comprovada (Salgado – Labouriau – nesta publicação). Pois, o registro palinológico mostra que o Cerrado é uma vegetação resiliente, que tem sido queimada freqüentemente por, pelo menos, 40.000 anos, enquanto os indígenas, responsáveis por queimadas, estabeleceram-se no Cerrado há cerca de 10.000 anos. Conforme a autora, entre 28.000 e 20.000 AP, durante o último máximo glacial, o Cerrado era frio e úmido com a presença de pólen de espécies do gênero *Byrsonima*, *Neea* e das Leguminosae *Andira*, *Cassia*, *Stryphnodendron*. Pólen de espécies das famílias Combretaceae, Gramineae, Melastomataceae, Myrtaceae e Palmae também coexistiram na região. Além de espécies de Cerrado encontravam-se também pólen de plantas arbóreas típicas de formações florestais dos gêneros *Rapanea*, *Hedyosmum*, *Ilex*, *Celtis*, *Salacia*, *Symplocos*, *Podocarpus*, de espécies de Cunoniaceae e Moraceae. Depois de 5.000 AP, lagos, pântanos e veredas começam a se formar nos cerrados do Brasil Central e o clima passou para semi-úmido com uma estação seca prolongada de três a cinco meses, conforme a localidade.

A estacionalidade do clima tem sido considerada como determinante das fisionomias savânicas do bioma Cerrado, assim como exerce grande influência sobre as Florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais. Já o lençol freático, próximo à superfície do solo compensa os efeitos da estacionalidade para as Matas de Galeria permitindo a ocorrência de floresta tropical com vinculações florísticas às demais formações tropicais úmidas brasileiras.

O clima do Cerrado apresenta duas estações bem definidas, uma seca, que tem início no mês de maio, terminando no mês de setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril, com precipitação média anual variando de 600 a 2.000 mm, com a ocorrência freqüente de veranicos, períodos sem chuva, na estação chuvosa desta região (Assad, 1994). A diversidade fisionômica das formações vegetais resulta em uma exploração diferenciada da água disponível ao longo do perfil do solo e as variações em altura, tamanho de copas, densidade de gramíneas. Outras características proporcionam gradientes luminosos distintos tanto no transcurso da paisagem e como ao longo da estrutura vertical da vegetação, resultando em diferenças acentuadas no nível de sombreamento a que uma planta pode estar exposta no decorrer de seu desenvolvimento. Além disso, a estação das chuvas caracteriza-se por uma alta nebulosidade o que reduz consideravelmente a intensidade luminosa e, provavelmente, afetando o balanço de carbono das folhas, mesmo em ambientes expostos, conforme citado por Franco (nesta publicação). Conforme este autor, espera-se que plantas lenhosas do

Cerrado possuem uma variedade de estratégias de utilização de água e luz, com efeitos marcantes da sazonalidade no balanço de carbono de espécies com diferentes fenologias. Plantas lenhosas do Cerrado apresentam taxas, relativamente, altas de assimilação máxima de CO<sub>2</sub>, entretanto, o investimento maciço em estruturas subterrâneas representa um dreno importante dos produtos fotossintéticos que poderia ser investido em crescimento da parte aérea (Franco, nesta publicação).

Alterações no metabolismo do carbono, na utilização da irradiação e na alocação de biomassa para os compartimentos da planta, certamente, ajustaram a capacidade de assimilação com as demandas de carbono, mantendo o crescimento de *Cybistax antisyphilitica* e *Tabebuia chrysotricha*, estudadas por Prado *et al.* (nesta publicação), sob taxas menores na condição de sombra. Os resultados demonstraram a capacidade de aclimação de longo prazo à reduzida irradiação incidente em diferentes níveis de organização da planta, explicando, ao menos em parte, a ampla distribuição destas duas espécies nas diversas fisionomias do Cerrado.

O efeito da luz na germinação, crescimento e desenvolvimento de espécies nas formações florestais, inclusive nas Matas de Galeria, já é bastante entendido com a possibilidade de separação das espécies em grupos funcionais relativos à tolerância ao sombreamento (Felfili & Abreu 1999; Felfili *et al.* 2001). Nos ambientes savânicos de Cerrado, que se caracterizam por um estrato herbáceo contínuo, entrecortado por um estrato arbóreo de densidade variável verifica-se também um gradiente lumínico ao longo dos estágios de desenvolvimento das plantas. O nível de sombreamento a que uma planta lenhosa no Cerrado estará exposta vai variar em função do seu tamanho e da estrutura da vegetação, ou seja, na fase inicial de crescimento quando germina sob a camada graminosa, uma planta estará sujeita a níveis de sombreamento muito superiores àqueles que encontrará na sua fase adulta, depreendendo-se que, mesmo em ambientes savânicos no Cerrado o sombreamento pode ser um fator limitante no estabelecimento e desenvolvimento das plantas.

A maior sensibilidade ao fogo das espécies florestais sugere que esse fator tem sido importante em limitar a distribuição atual de florestas (principalmente, Cerradão) no bioma Cerrado. Hoffmann (nesta publicação) com base em experimentos em viveiro com espécies congêneres de Cerrado e Mata de Galeria constatou essa diferença na sensibilidade ao fogo e sugeriu que esta tem um importante papel na dinâmica do ecótono Cerrado-Mata. Apesar das florestas serem menos inflamáveis do que Cerrado, o fogo ocasionalmente penetra nelas, causando grandes danos devido à baixa tolerância de espécies florestais ao fogo (Felfili 1997).

As diferenças em repartição de biomassa entre espécies florestais, que investem mais em parte aérea e em espécies de Cerrado com comportamento contrário, corroboram os resultados encontrados por Paulilo & Felipe (1998), Moreira & Klink (2000) e Felfili *et al.* (2001). A consistência dessas características dentre as espécies em cada ambiente indica evolução convergente, que é uma forte evidência de que essas características são adaptações aos ambientes de Cerrado e de Mata, conforme sugerido por Wanntorp *et al.* (1990). Em matas, onde a luz é considerada um dos principais fatores que limitam o crescimento de plântulas, espécies com porte alto e um grande investimento em área foliar teriam mais sucesso na competição por luz. Em Cerrado, a luz é abundante, mas água e nutrientes, provavelmente, são mais

limitantes, o maior investimento em raízes seria mais vantajoso, conforme sugerem Gleeson & Tilman (1992).

As principais classes de solo que suportam o Cerrado sentido restrito na região central do Planalto Central brasileiro são Latossolos Vermelhos (46%) e Neossolos Quartzarênicos (Haridasan, nesta publicação). São solos profundos e bem drenados, e não apresentam restrições ao crescimento radicular das árvores. Estas classes representam respectivamente, cerca de 46 e 15% da superfície total da região (Reatto & Martins, nesta publicação). Haridasan (nesta publicação), citando Burnham (1989) e Nepstad *et al.* (2001), sugere que com o alto grau de intemperismo e profundidade do solo, geralmente maior que 2m, as camadas inferiores não devem desempenhar nenhum papel significativo na nutrição mineral das plantas nativas do Cerrado o que leva à improbabilidade do aproveitamento de formas de P e K consideradas indisponíveis (não extraídas pelos extratores convencionais como de Mehlich e de Bray). Haridasan considera que a manutenção deste ecossistema deve depender de uma reciclagem fechada e eficiente de macronutrientes (P, K, Ca e Mg), ainda existindo a possibilidade de entrada de quantidades pequenas através de precipitação, como preconizado por Coutinho (1979).

Quando a profundidade do solo torna-se limitante, por causa de concreções lateríticas ou ferruginosas ou afloramento de rochas, a fisionomia comum é de Campo cerrado ou Cerrado rupestre (Ribeiro & Walter 1998). Nestes ambientes, a distribuição de raízes está concentrada nas camadas mais superficiais, diminuindo drasticamente com a profundidade (Abdala *et al.* 1998, Delitti *et al.* 2001). Apesar da alta biodiversidade de espécies arbóreas em comunidades nativas do Cerrado sentido restrito em solos distróficos, relativamente, poucas espécies constituem as maiores populações (Felfili *et al.*, 2004) e segundo Haridasan (nesta publicação) contribuem para a maior parte da biomassa e estoque de nutrientes. As concentrações de nutrientes foliares variam bastante entre estas espécies. As espécies mais abundantes, entretanto, parecem ser menos exigentes em nutrientes por apresentarem relativamente menores concentrações foliares e maiores números de indivíduos.

O estabelecimento e desenvolvimento das plântulas estão relacionados ao intervalo entre queimas, com queimadas freqüentes favorecendo a reprodução vegetativa, pois com pequenos intervalos entre queimadas, as plântulas não se desenvolvem o suficiente para atingir o tamanho crítico de escape ao fogo, cujo efeito, na época seca seria mais negativo (Miranda, nesta publicação, com base em Whelan, 1995). Vale ressaltar que os incêndios naturais, apesar de ocorrerem há milhares de anos no Brasil Central, eram provavelmente menos concentrados na estação seca do que atualmente, pois alguns seriam causados por raios durante tempestades que, em geral, ocorrem a partir do início das chuvas, enquanto ainda há muito material combustível acumulado. Apesar de muitas espécies de plantas dos ambientes savânicos do Cerrado apresentarem características morfológicas que conferem resistência ao fogo, os incêndios em intervalos muito curtos desfavorecem a camada lenhosa (Felfili *et al.*, 2000; Moreira, 2000) contribuindo para que vegetação mais aberta suceda aos Cerrados mais densos.

Henriques (nesta publicação) sugere que cada tipo fisionômico do Cerrado *sensu lato* pode ser considerado como um tipo de vegetação clímax. Na ocorrência

do fogo, todos os tipos fisionômicos sofrem um processo de regressão para uma fisionomia (estágio) mais aberta, com desenvolvimento do estrato inferior dominado por gramíneas e diminuição do componente lenhoso arbustivo. Considerando que a região do bioma Cerrado pode estar com frequência de fogo acima do regime normal, devido à ação antrópica, é provável que as fisionomias abertas, em particular a de Cerrado *sensu stricto* em áreas sem impedimento edáfico, estejam em diferentes estágios sucessionais após o fogo. Vale ressaltar que uma fisionomia só pode alcançar sua plenitude em função da capacidade de carga do ambiente, ou seja, mesmo protegido de fogo, um campo úmido em solo hidromórfico não se tornará um Cerrado típico, assim como, um Campo rupestre não se tornará uma Mata de Galeria. Por outro lado, um Cerrado ralo sobre Latossolo profundo e bem drenado, protegido, pode tornar-se um Cerrado denso, pois esta última, seria a formação clímax que estava aberta pela recorrente ocorrência de incêndios.

## **PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO E IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO E MANEJO**

Na análise comparativa de pequenos mamíferos no Cerrado, Vieira e Palma (nesta publicação) verificaram que as comunidades de pequenos mamíferos do Cerrado podem ser divididas em três conjuntos, segundo sua composição: comunidades em florestas, comunidades em áreas abertas (secas ou úmidas) e comunidades em savanas (cerrados com diferentes graus de cobertura arbórea). A riqueza de espécies de pequenos mamíferos no Cerrado atinge valores máximos em Matas Ciliares e de Galeria, seguidas pelas Florestas Mesofíticas. Estes autores destacam as comparações em escala regional realizadas com comunidades de répteis e anfíbios (Colli *et al.*, 2002) e pequenos mamíferos (Marinho-Filho *et al.*, 1994). Rodrigues (nesta publicação), parte da premissa que, com raras exceções, as espécies da herpetofauna do Cerrado freqüentam livremente ou toleram a Mata de Galeria, possuindo assim pré-adaptações mínimas para permanecerem em áreas florestadas. A fauna de floresta, ao contrário, é estritamente umbrófila e, praticamente, não tolera ambientes abertos. O autor refere-se a trabalhos de Silva (1995a, 1995b), Cartelle (2000) e Fonseca *et al.* (2000), que apresentaram hipóteses para explicar a distribuição atual e pretérita e a composição da fauna do Cerrado e os que buscaram evidências sobre a importância das Matas de Galeria na dispersão de aves amazônicas e da Floresta Atlântica nos Cerrados (Silva, 1996; Willis, 1992).

No que toca à vegetação, estudos comparativos de inventários de comunidades têm sido realizados para detectar padrões fitogeográficos, diferenciando a região em zonas fitogeográficas caracterizadas por táxons distintos (Ratter & Dargie, 1992; Ratter *et al.*, 1996; Ratter *et al.*, 2003; Castro, 1994 e Castro *et al.*, 1999) assim como associar os padrões de distribuição, com base em amostragens padronizadas, a fatores ambientais (Felfili & Silva Júnior, 1993, 2001 e nesta publicação; Felfili *et al.* 1994, 1997, 2004).

A análise dos padrões fitogeográficos e de diversidade de comunidades vegetais do Cerrado *sensu stricto* apresentada por Felfili & Silva Júnior (nesta publicação) indica que o Cerrado *sensu stricto* é uma rica e diversa fitofisionomia, com elevada

diversidade alfa. O relacionamento positivo entre os padrões de diversidade e as características físicas do ambiente, também verificado por Felfili & Silva Júnior (2001), trazem a possibilidade de modelagem desses padrões de acordo com zoneamentos fisiográficos e fisionômicos tais como o elaborado por Cochrane *et al.* (1985). Os autores verificaram também que a diversidade beta é baixa nas comunidades de Cerrado *sensu stricto* quando as comparações são baseadas em presença e ausência de espécies devido a um elevado número de espécies comuns entre diferentes locais. Porém, esta se torna elevada nas comparações baseadas na densidade de espécies ou seja, a diversidade beta é elevada devido a uma distribuição de indivíduos por espécies muito desigual nos locais ao longo do bioma, apesar de um grande número de espécies ocorrerem em comum. A densidade de espécies é, portanto, um importante parâmetro para tomada de decisões quanto à conservação e manejo do Cerrado. No estabelecimento de unidades de conservação torna-se importante verificar tanto a ocorrência das espécies, como o tamanho de suas populações. No delineamento de estratégias para manejo e extrativismo sustentável, tornam-se fundamentais avaliações quantitativas, com precisão suficiente para o planejamento da produção em nível regional.

Quanto à representatividade das unidades de conservação em relação aos padrões de diversidade beta, aqui estudados, verificou-se que a configuração original do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros é insuficiente para proteger a diversidade florística daquela Chapada. Que todas as unidades de conservação da Chapada Pratinha estão concentradas no Distrito Federal, deixando as terras baixas da Chapada que incluem Paracatu-MG e Patrocínio-MG desprotegidas e que o Parque Grande Sertão Veredas é bastante representativo do Espigão Mestre (Felfili & Silva Júnior, nesta publicação).

Ribeiro *et al.* (nesta publicação), em termos de Cerrado sentido restrito, citam que as análises biogeográficas realizadas por Castro (1994), Castro e Martins (1999), Ratter & Dargie (1992), Ratter *et al.* (1996) e Ratter *et al.* (2003) com base em presença e ausência de espécies permitiram a identificação de padrões de distribuição da flora do bioma. Ratter *et al.* (1996) reconheceram os grupos Sul (São Paulo e sul de Minas Gerais), Este-sudeste (principalmente, Minas Gerais), Central (Distrito Federal, Goiás e porções de Minas Gerais), Centro-oeste (a maior parte de Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul), e Norte (principalmente Maranhão, Tocantins e Pará), assim como um grupo de vegetação savânica disjunta na Amazônia. Neste estudo, os autores mostraram não apenas que a diversidade tende a ser menor nos sítios com solos relativamente mais férteis, onde existe a dominância de espécies indicadoras como *Callisthene fasciculata*, *Magonia pubescens*, *Terminalia argentea* e *Luehea paniculata* mas também a existência de intensa heterogeneidade entre os sítios amostrados (diversidades beta e gama). O padrão de diversidade das espécies lenhosas é principalmente constituído de um grupo restrito de 300 espécies (cerca de 1/3 do total) relativamente comuns e 2/3 de espécies bastante raras, muitas das quais poderiam ser classificadas como acessórias (Ratter *et al.* 2003). Este padrão de oligarquia de um grupo de espécies comuns e muitas outras espécies raras, também foi verificado para as Matas de Galeria (Silva Júnior *et al.* 2001). Os autores consideram também que a intensa heterogeneidade florística local e regional aqui destacada deve ser considerada para o estabelecimento de Unidades de Conservação, onde se

torna necessário proteger muitas áreas para representar adequadamente a biodiversidade local e regional de plantas lenhosas. Os dados disponíveis evidenciam que, para ser efetiva, a conservação deve ser fundamentada na integração entre as fisionomias.

A similaridade florística entre as fisionomias florestais e savânicas é baixa, Felfili & Silva Júnior (1992) comparando Matas de Galeria, Cerrado *sensu stricto* e Cerradão da Fazenda Água Limpa, Distrito Federal, verificaram uma pequena sobreposição de espécies lenhosas entre Cerrado *sensu stricto* e Matas de Galeria, enquanto que o Cerradão foi composto de uma mistura de espécies do Cerrado e das Matas de Galeria. Analisando-se a lista de espécies vasculares elaborada por Mendonça *et al.* (1998) confirma-se esse padrão e verifica-se também que as florestas estacionais em solos férteis apresentam uma flora diferenciada tanto do Cerrado como das Matas de Galeria e que o Cerradão nos solos distróficos apresenta uma flora composta de espécies de Cerrado *sensu stricto* e de Mata de Galeria, mas quando ocorre em solos mesotróficos apresenta também, elementos de florestas estacionais decíduais e semidecíduais configurando-se como uma fisionomia de transição com uma estrutura própria, mas com uma flora mista, composta de espécies das formações adjacentes. O Carrasco é uma fisionomia que ocorre principalmente na zona de transição Cerrado/Caatinga (Felfili & Silva Júnior 2001) e também se configura como uma fisionomia de transição.

Scariot e Sevilha (nesta publicação) consideram, baseados em aspectos florísticos e fisionômicos, que entre as formações brasileiras, as Florestas Estacionais Decíduais estão mais associadas às Caatingas arbóreas, com espécies tidas como típicas dessa formação, tais como *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (aroeira), *Schinopsis brasiliensis* Engl. (braúna), *Cavanillesia arborea* K Schum. (barriguda), *Amburana cearensis* (Fr. All.) A. C. Smith (cerejeira) e *Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl. (ipê roxo) entre outras, apesar dessas florestas poderem apresentar semelhança também com outros tipos de vegetações adjacentes, dada a interpenetração de espécies dessas outras formações. Da mesma forma, florística e estruturalmente, o componente arbóreo das Florestas Estacionais Decíduais de áreas planas e de afloramentos calcários de uma mesma região, como é o caso da bacia do rio Paranã, pode formar associações distintas (Scariot & Sevilha 2003; nesta publicação).

Não obstante a singularidade das florestas estacionais decíduais, a riqueza em espécies de importância madeireira, a alta taxa de desmatamento e o impacto da perturbação antrópica nos remanescentes, poucas unidades de conservação contemplam essa fitofisionomia (Sevilha *et al.*, 2004). Essencial na extensa região do vale do rio Paranã, onde ainda existem áreas dessa vegetação, é a imediata implantação de novas unidades de conservação que permitam a conservação e a preservação de amostras significativas da biodiversidade, da rica variedade de fitofisionomias e das nascentes dos cursos de água e que assegurem, ainda, o fluxo gênico entre populações isoladas. Scariot & Sevilha (nesta publicação) sugerem, que neste contexto, a implementação de corredores ecológicos é um objetivo maior a ser perseguido. Os corredores ecológicos são uma das formas de planejamento regional que visam manter sistemas de áreas protegidas em uma matriz de uso humano da paisagem. Esses autores destacam que, em um corredor ecológico, são desenhadas e implementadas conexões entre áreas protegidas, de forma que os biomas naturais

não sejam ilhados como resultado da ação antrópica. Ao combater a fragmentação, mantêm-se os processos de migração, dispersão, colonização e intercâmbio genético que permitem a sobrevivência da biota nativa na paisagem. Em termos de ecossistema, também são mantidos os fluxos de matéria e energia que sustentam a produtividade natural (Cavalcanti, nesta publicação).

Silva & Sousa (nesta publicação) relatam que nas últimas décadas foram desenvolvidos estudos biogeográficos sobre as avifaunas dos cinco grandes biomas brasileiros, permitindo assim estimar a importância relativa da especiação versus intercâmbio biótico no processo de formação das avifaunas desses biomas e propor um primeiro modelo. Com base no modelo, a produção de espécies parece ser o principal fator que leva à alta diversidade regional de espécies na Amazônia e Floresta Atlântica enquanto que nas avifaunas da Caatinga, Cerrado e Pantanal, o intercâmbio biótico teve um papel mais importante na determinação da diversidade regional de aves do que a produção de espécies. Em contraste com as avifaunas das três áreas de formações abertas, as avifaunas da Amazônia e da Floresta Atlântica são compostas por uma grande porcentagem de espécies endêmicas, muitas das quais são restritas a somente uma porção da região. O Pantanal não possui endemismos em aves e muito da sua avifauna é composta por elementos biogeográficos dos biomas adjacentes. A Caatinga e o Cerrado possuem muito mais espécies endêmicas do que o Pantanal, mas em ambos os biomas o grande número de espécies que têm os centros de suas distribuições localizados em outros biomas é muito significativo. Na Caatinga, os elementos de outros biomas estão principalmente nas florestas úmidas encontradas nas encostas de planaltos residuais (localmente denominados de “brejos”) ou nas transições ecológicas com relevo complexo (Chapada da Diamantina) para a Floresta Atlântica e Cerrado. No Cerrado, os elementos dos outros biomas estão principalmente nas Matas de Galeria, que cobrem menos de 10% da região, e nas Florestas Estacionais (Matas Secas), que estão restritas a manchas de solos derivados de rochas básicas, nas depressões localizadas entre planaltos. Os “brejos” e as Matas de Galeria apresentam vínculos florísticos com a Floresta Atlântica (Felfili *et al.* 2001) e as Matas Secas ou Florestas Estacionais Deciduais apresentam elementos florísticos comuns com a Caatinga arbórea (Andrade Lima, 1981, Felfili 2003) e com as florestas semideciduais do Sudeste, para fins conservacionistas, hoje classificadas como Floresta Atlântica, ou seja, a avifauna de outros biomas presentes nas formações abertas são dependentes das formações florestais extra Cerrado ou extra Caatinga que existem nos limites dos respectivos biomas.

Um planejamento biorregional de conservação deve ter como objetivo manter os processos biogeográficos responsáveis pela diversidade regional de espécies. Esse planejamento deveria tanto manter a produção de espécies e o intercâmbio biótico com os biomas adjacentes como evitar a extinção em massa das espécies devido às modificações ambientais causadas pelas atividades humanas. No Pantanal e no Cerrado, extensos corredores ribeirinhos são essenciais para garantir o fluxo permanente de populações e espécies dos biomas adjacentes para essas regiões. No caso do Cerrado, as florestas ribeirinhas possuem também muitas espécies endêmicas. Para a conservação das espécies endêmicas das áreas abertas do Cerrado, lugares estratégicos devem ser selecionados com base nos padrões de variação da abundância destas espécies ao longo da região. Mais especificamente, um esforço especial de

conservação deve ser direcionado para as três áreas de endemismo reconhecidas para aves na região: o vale do rio Araguaia, o vale do rio Paranã e suas florestas secas e a Chapada Diamantina com os seus campos rupestres (Silva & Bates, 2002).

Colli (nesta publicação) avalia que os principais eventos de vicariância que afetaram a herpetofauna sul-americana, em geral, e do Cerrado, em particular, foram em primeiro lugar, a diferenciação climática latitudinal e formação de províncias florísticas ao final do Cretáceo e início do Terciário, que criou uma dicotomia entre espécies de paisagens abertas, sob climas temperados e secos, versus espécies de paisagens florestais, sob climas tropicais e úmidos. Em segundo lugar, a herpetofauna foi subdividida pela formação da Cordilheira dos Andes a partir do Oligoceno, resultando na divergência de elementos cis- versus trans-Andeanos. Depois, a grande transgressão marinha do Mioceno promoveu uma maior diferenciação entre a herpetofauna do Planalto Central Brasileiro em relação à do sul do continente. Em seguida, o soerguimento do Planalto Central Brasileiro estimulou a diversificação da herpetofauna do Cerrado, entre elementos dos platôs versus aqueles das depressões interplanálticas. Finalmente, flutuações climáticas no Quaternário promoveram mais especiação, principalmente em encaves de vegetação nas regiões de contato entre o Cerrado e as Florestas Amazônica e Atlântica. A esses eventos de vicariância, há que se acrescentar o enriquecimento adicional da herpetofauna de paisagens abertas, incluindo o Cerrado, pela chegada de imigrantes das Américas Central e do Norte. Essa seqüência de eventos presumivelmente deixou suas marcas, seja na composição atual da herpetofauna dos biomas, seja nas filogenias dos clados sul-americanos, o que pode ser verificado por meio de análises biogeográficas.

Baseado em dados da literatura, na análise de coleções zoológicas e em levantamentos, Pinheiro (nesta publicação) apresenta uma lista contendo 645 espécies de borboletas efetivamente registradas no Distrito Federal, indicando uma expressiva riqueza, mas, mesmo assim, aproximadamente um terço de todas as borboletas que ocorrem no Brasil Central (cerca de 210 espécies), nunca foi registrado em qualquer unidade de conservação do Distrito Federal. Este fato é atribuído pelo autor, à ausência nas Unidades de Conservação do DF em pelo menos duas das fisionomias de vegetação de Cerrado que se constituem no *habitat* preferido de uma grande variedade de espécies de borboletas: (1) as florestas semidecíduais (também conhecidas como florestas mesofíticas), que no DF ocorrem principalmente em regiões de solos calcários, como na região de Sobradinho, na chapada da Contagem e na região da Fercal, e (2) as Matas de Galeria associadas a rios de médio e grande porte, geralmente mais densas e mais extensas do que aquelas encontradas ao longo dos pequenos córregos e ribeirões presentes nos parques e reservas. O autor considera que nas últimas décadas, o Distrito Federal vem passando por um intenso processo de urbanização e pelo desenvolvimento de várias atividades econômicas que levam inexoravelmente à destruição dos *habitats* naturais e, conseqüentemente, à perda em biodiversidade. Com o avanço da urbanização, muitas das unidades de conservação vêm sendo transformadas em verdadeiras “ilhas de vegetação”, geograficamente isoladas de outras unidades. Neste trabalho verifica-se que mesmo ambientes com pouca representatividade em área no bioma Cerrado estão revestidos de grande importância para estratégias de conservação da biodiversidade. As florestas estacionais que

ocorrem em fragmentos naturais e antrópicos no Brasil Central, arrançadas como trampolins naturais de biodiversidade (Felfili, 2003), aproximam as extensas formações estacionais da região da Caatinga, do Pantanal e do Chaco. Proporcionando, assim, *habitats* exclusivos para uma flora (Scariot & Sevilha, nesta publicação, Pott & Pott 2003, Nascimento *et al.* 2004) e fauna de borboletas (Pinheiro, nesta publicação) de distribuição restrita a este tipo de formação e que, em geral, não estão contempladas nas Unidades de Conservação existentes. No Distrito Federal, as Florestas Estacionais ocorrem na região da FERCAL, na APA de Cafuringa, fora das principais unidades de conservação.

Os estudos sobre amplitude de dieta dos herbívoros, principalmente na região tropical, podem esclarecer algumas questões ecológicas, entre elas as estimativas de riqueza de espécies locais e regionais (Diniz & Morais, nesta publicação). Estas autoras consideram que no Cerrado do Distrito federal, cerca de 47% das espécies de lagartas (Lepidoptera) folívoras foram encontradas em apenas uma espécie de planta (monófagas), enquanto 20% são oligófagas, ocorrendo em apenas uma família de planta e 33% são polífagas, que se alimentam de várias famílias de plantas. Isto reforça a idéia de que as lagartas têm uma amplitude de dieta estreita nos trópicos e por isso a necessidade de conservação da biodiversidade. Aguiar *et al.* (nesta publicação) analisando a complexidade estrutural de bromélias e a diversidade de artrópodes, em ambientes de campo rupestre e Mata de Galeria no Cerrado do Brasil Central constaram diferenças significativas entre esses *habitats*, ressaltando, também, a importância da conservação do mosaico vegetacional do bioma Cerrado.

Fernandes & Gonçalves-Alvim (nesta publicação), citando Lara & Fernandes (1996), sugerem que a fauna de insetos galhadores no Cerrado é uma das mais ricas do mundo. Tidon *et al.* (nesta publicação) informam que foram identificados três gêneros de Drosophilidae no bioma Cerrado. *Drosophila*, o maior desses três gêneros na região Neotropical, contempla 55 das 57 espécies listadas, enquanto *Scaptodrosophila* e *Zaprionus* estão representados por apenas uma espécie cada. Dentre as 57 espécies de drosofilídeos reconhecidas, 48 são endêmicas da região Neotropical e nove nela introduzidas. Várias dessas espécies são sinantrópicas e colonizaram a área após a chegada do homem, alterando a composição da fauna drosofiliana da região. Espécies da fauna nativa são encontradas em todas as fitofisionomias do Bioma, demonstrando o alto grau de plasticidade adaptativa dessa família. Um dado preocupante é que das nove espécies introduzidas na região Neotropical e registradas no bioma Cerrado, sete foram capturadas pelas autoras na Reserva Ecológica do IBGE e no Parque Nacional de Brasília, Unidades de Conservação do Distrito Federal. Isso sugere que, embora mantidas como reservas ambientais, essas áreas estão sofrendo colonizações de espécies introduzidas, que podem alterar a fauna nativa da região.

Devido a sua capacidade incomum de digerir celulose, os térmitas são um grupo funcional dominante no Cerrado, com grande impacto no fluxo de energia, ciclagem de nutrientes e formação do solo. Uma fauna extremamente diversa depende dos cupins para alimento ou abrigo. Por outro lado, a conversão de cerrados em agrossistemas, freqüentemente, leva a desequilíbrios que transformam algumas espécies de térmitas em pragas agrícolas (Constantino, nesta publicação). Os cupins do bioma Cerrado podem ser divididos em quatro grupos funcionais: xilófagos,

humívoros, comedores de folhas da serapilheira (litter) e intermediários (espécies que não se enquadram claramente em nenhum dos outros grupos), sendo uma característica importante da fauna do Cerrado, a abundância e diversidade de comedores de folhas mortas. As principais diferenças da termitofauna de Cerrado em relação à de florestas são: a) menor proporção de xilófagos; b) maior proporção de comedores de folhas da serapilheira. Dois padrões comuns de distribuição geográfica podem ser estabelecidos com base em grupos mais bem conhecidos, sugere o autor citando Cancellato & Myles (2000). Algumas espécies, como *Serritermes serrifer*, ocorrem em boa parte do Cerrado e em algumas savanas amazônicas, mas têm um limite sul que corresponde aproximadamente à divisa entre Minas Gerais e São Paulo. Várias outras, como *Labiotermes brevilabius* e *Procornitermes araujoi*, ocorrem numa área menor, de São Paulo a Goiás. É provável também que existam dois outros padrões comuns. O primeiro corresponderia à porção noroeste, incluindo parte de Goiás até Rondônia, onde ocorrem *Spinitermes allognathus* e *Spinitermes robustus*. O segundo seria a parte nordeste, em Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia. A fauna dessa última área é praticamente desconhecida, mas uma espécie nova, *Noirotitermes noiroti*, foi descoberta recentemente num Cerrado do Piauí.

A diversidade de espécies da ictiofauna no Cerrado é bastante expressiva contendo mais de 500 das quase 3.000 espécies de peixes na América do Sul (Fonseca, nesta publicação). Conforme a autora, os cursos d'água que nascem nesta região do Cerrado fluem naturalmente para as bacias contíguas, constituindo muitas vezes corredores ecológicos para muitas espécies aquáticas. Dependendo da capacidade de adaptação das espécies, aliada às condições adequadas para o seu estabelecimento em outras regiões, os deflúvios do Cerrado podem representar caminhos de dispersão de espécies aquáticas. Dessa forma, o Cerrado brasileiro representa uma das áreas indispensáveis para a preservação da diversidade biológica aquática e do seu patrimônio genético. Citando Conservation International (1999), a autora considera que as áreas de conexão entre as bacias, que compreendem as suas cabeceiras de drenagem, são focos de endemismo para muitas espécies de água doce, representando uma das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade aquática.

## PROPOSTAS PARA CONSERVAÇÃO

Alho (nesta publicação) ressalta que tem sido difícil persuadir os políticos, diante da pressão social, de que o combate à pobreza, à miséria, e também o desejo de desenvolvimento econômico e social, pressupõem a necessidade de conservação da natureza. A perda da biodiversidade, alcançada pela extinção irremediável de espécies de flora e fauna só agrava os problemas da população humana. A prática tem demonstrado que, no caso de destruição da natureza, a população local pobre é a primeira que sofre a conseqüência da degradação da natureza. Este autor considera que o conceito de biodiversidade se apóia num tripé: diversidade de espécies (representando o número de formas de vida no nível de espécies e suas populações), diversidade genética (representando as diversas variedades sub-específicas ou genéticas das formas de vida) e diversidade ecossistêmica (representando as diversas paisagens naturais como Campo, Campo sujo, Campo úmido, Cerrado no sentido restrito, Campo cerrado, Cerradão, Mata Seca, Mata-Ciliar e de Galeria, Vereda e

outras). E, que cada um desses elementos pode sofrer influência de pelo menos três tipos de pressão: física (degradação ou perda de *habitats*), química (ação de contaminantes ambientais e poluição), e biológica (introdução de espécies exógenas, perturbação na cadeia trófica, eliminação de espécies-chave da comunidade ecológica) e outros fatores. Aponta que há diversas causas ou fatores identificados como ameaças ao Cerrado: (a) de ordem institucional (dificuldade de aplicar a legislação ambiental existente, deficiências na fiscalização e carência de conscientização ambiental); (b) fogo; (c) desmatamentos; (d) expansão agrícola e pecuária (sem ordenamento ecológico-econômico); (e) contaminantes ambientais (emprego desordenado de pesticidas, herbicidas e outros tóxicos ambientais, provocando poluição das águas e do solo); (f) erosão (assoreamento de corpos d'água, lixiviação e perda de solos devido ao emprego de técnicas não apropriadas de uso do solo); (g) uso predatório de espécies (sobre-exploração de espécies da flora e fauna); (h) implantação de grandes obras de infra-estrutura (impactos causados pela abertura de rodovias, hidrovias, hidrelétricas e outras obras); (i) turismo desorganizado e predatório e outras causas. A degradação e perda de *habitats* naturais, oriundas de diversas causas, são as maiores ameaças identificadas sendo necessária a adoção pelo governo e sociedade das diretrizes elaboradas para o Cerrado pelo grupo de trabalho criado pela Portaria do Ministério do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, número 298 de 11 de agosto de 1999.

Pivelo (nesta publicação) sugere que apenas a criação de unidades de conservação não é suficiente para a manutenção do patrimônio natural, mas é também necessário que medidas de manejo sejam adotadas para estas áreas, bem como para toda a paisagem onde se inserem. Intervenções nos ecossistemas protegidos são necessárias para direcionar seus processos e evitar ou remediar problemas que os levem à deterioração. Dentre as constantes pressões antrópicas sobre o Cerrado, a autora destaca as queimadas, invasões para sua ocupação com moradias e agricultura de subsistência, entrada de gado, retirada de lenha e de espécies medicinais, além da invasão biológica por espécies exóticas. Dentre os problemas enfrentados pelas unidades de conservação do Cerrado, três são destacados devido à frequência com que ocorrem e à magnitude dos danos decorrentes: incêndios causados por queimadas acidentais, invasões biológicas e fragmentação de *habitats*. Pivelo pondera que é ampla a gama de dados já obtidos para o Cerrado, úteis para subsidiar seu manejo, entretanto grande parte desse conhecimento biológico e fisiográfico está sob forma descritiva e necessita ser organizado, analisado e trabalhado sob uma perspectiva prática, e ainda integrado a aspectos sociais e econômicos, para sua utilização no manejo ambiental. Mais do que isso, a informação precisa chegar aos agentes - os técnicos responsáveis pelas unidades de conservação - e aos tomadores de decisões, que elaboram as diretrizes e normas a serem adotadas.

Cavalcanti (nesta publicação) alerta que a capacidade de sustentação extrativa de ecossistemas nativos é extremamente limitada e oferece poucas perspectivas de ampliação como instrumento para promoção de conservação. Por outro lado, o uso de paisagens naturais para fornecimento de serviços, onde não há necessidade de remoção de matéria ou energia do sistema, permite um crescimento de escala considerável, restando o desafio de promover um processo de valoração para justificar sua manutenção. O autor informa que os esforços para conseguir valorar ecossistemas

naturais a título de serviços foram acelerados a partir da década de 1980. As principais classes são: (a) serviços de ecossistema: manutenção da água, manutenção de clima, fixação de carbono, controle de erosão e conservação do solo; (b) serviços biológicos: manutenção da biodiversidade, bioprospecção, controle de predadores, serviços de polinizadores, entre outros e; (c) serviços sociais/culturais: manutenção de identidade cultural de populações locais, símbolo e local para rituais sociais e religiosos, ecoturismo e turismo de aventura, lazer, manutenção da qualidade de vida. Entretanto, Cavalcanti pondera, que na sociedade moderna, os serviços públicos, em geral, assim como os recursos naturais têm sido sistematicamente não valorados, subvalorados, ou então têm seus custos subsidiados. Dessa forma, o real valor dos ecossistemas naturais é invisível para a maioria da população e não conseguem enfrentar em termos econômicos os outros usos potenciais da terra em que os retornos são valorados de forma mais transparente. O ambiente terrestre é um ambiente biológico, os principais elementos que mantêm as condições de vida na terra são conseqüências da transformação biológica do planeta durante o último bilhão de anos. O teor de oxigênio na atmosfera, as condições climáticas locais como temperatura, precipitação, umidade, ventos e o teor de água no solo são todos mediados e em boa parte determinados pelas paisagens biológicas. A sustentação da vida humana, também, em última instância depende da transformação biológica da energia solar em alimentos, mediada pela fotossíntese. Desta forma é paradoxal que grande parte da população humana dê maior valor aos elementos tecnológicos de uma sociedade de consumo do que aos biológicos na determinação de nossa qualidade de vida e sustentabilidade. Uma estratégia de proteção ambiental agrega valor significativo para a viabilidade da ocupação humana de uma região. O custo de não proteger áreas-chave é muito alto. No Cerrado, onde a precipitação se concentra em seis meses do ano, a perenização dos rios depende de armazenamento de água subterrânea, nos grandes sistemas de chapadões da Serra Geral.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da abordagem multidisciplinar contida neste capítulo-síntese, depreende-se que o Brasil Central contém um mosaico de fisionomias savânicas e florestais, onde o Cerrado *sensu stricto* sobre Latossolos profundos e bem drenados domina, entretanto, uma grande variedade de fisionomias intercala-se com esta. Ou seja, em uma escala ampla, a vegetação do Cerrado constitui-se em grandes manchas ou fragmentos naturais que se intercalam estando a conectividade vinculada à manutenção do mosaico de fisionomias associadas. Há diferenciações florísticas e estruturais entre fisionomias, no entanto, há também diferenciações florísticas em uma mesma fisionomia ao longo do espaço territorial. Em geral, estas diferenças estão vinculadas a padrões recorrentes de características fisiográficas, gerando a necessidade de estratégias de manejo e conservação que considerem os padrões recorrentes de paisagens disjuntas ao longo do extenso bioma, que se distribui por mais de 20 graus de latitude.

As interfaces com outros biomas são particularmente importantes no Cerrado, ressaltando-se os ambientes contrastantes como as interfaces entre Cerrado e Caatinga e aquelas entre Cerrado e Florestas Tropicais Úmidas.

Esta diversidade de paisagens determina uma grande diversidade florística, que coloca a flora do bioma Cerrado como a mais rica dentre as savanas do mundo. A estacionalidade do clima tem sido considerada como determinante das fisionomias savânicas do bioma Cerrado, assim como exerce grande influência sobre as florestas estacionais decíduais e semidecíduais. Já o lençol freático, próximo à superfície do solo, compensa os efeitos da estacionalidade para as Matas de Galeria permitindo a ocorrência de floresta tropical com vinculações florísticas às demais formações tropicais úmidas brasileiras, enquanto a fertilidade do solo propicia a existência das florestas estacionais. Profundidade do solo, umidade e a ciclagem de nutrientes determinam as fisionomias de Cerrado *sensu lato* sobre solos distróficos.

A maior sensibilidade ao fogo das espécies florestais sugere que esse fator tem sido importante em limitar a distribuição atual de florestas (principalmente, Cerradão) no bioma Cerrado. Os incêndios naturais, apesar de ocorrerem há milhares de anos no Brasil Central, eram provavelmente menos concentrados na estação seca do que atualmente, pois alguns seriam causados por raios durante tempestades que, em geral ocorrem a partir do início das chuvas, enquanto ainda há muito material combustível acumulado. Apesar de muitas espécies de plantas dos ambientes savânicos do Cerrado apresentarem características morfológicas que conferem resistência ao fogo, os incêndios em intervalos muito curtos desfavorecem a camada lenhosa contribuindo para que vegetação mais aberta suceda aos cerrados mais densos. Considerando que a região do bioma Cerrado pode estar com frequência de fogo acima do regime normal, devido à ação antrópica, é provável que as fisionomias abertas, em particular a de Cerrado *sensu stricto* em áreas sem impedimento edáfico, estejam em diferentes estágios sucessionais após o fogo.

A fauna do bioma contém, em geral, elementos dos biomas adjacentes atribuindo-lhe um caráter generalista, mas vários grupos são restritos a ambientes específicos. A avifauna é composta por elementos biogeográficos dos biomas adjacentes. Um planejamento biorregional de conservação deve ter como objetivo manter os processos biogeográficos responsáveis pela diversidade regional de espécies. Mamíferos do Cerrado, por exemplo, podem ser divididos em três conjuntos, segundo sua composição: comunidades em florestas, comunidades em áreas abertas (secas ou úmidas) e comunidades em savanas (cerrados com diferentes graus de cobertura arbórea). Já as espécies da herpetofauna do Cerrado freqüentam livremente ou toleram a Mata de Galeria, possuindo assim pré-adaptações mínimas para permanecerem em áreas florestadas enquanto a herpetofauna de floresta, ao contrário, é estritamente umbrófila e, praticamente, não tolera ambientes abertos.

Um planejamento biorregional para conservação da fauna e da flora deveria tanto manter a produção de espécies e o intercâmbio biótico com os biomas adjacentes como evitar a extinção em massa das espécies devido às modificações ambientais causadas pelas atividades humanas. No Pantanal e no Cerrado, extensos corredores ribeirinhos são essenciais para garantir o fluxo permanente de populações e espécies dos biomas adjacentes para essas regiões. A manutenção do mosaico de paisagens nesses corredores será fundamental para garantir a conservação da biodiversidade do bioma Cerrado e a diversidade genética não só deste bioma, mas como daqueles limítrofes.

As florestas estacionais em afloramento calcáreos dispersos ao longo do bioma Cerrado, em especial no Vale do Paranã em Goiás, abrigam elementos da flora e da fauna comuns à Caatinga, à Chiquitania e ao Chaco, Incluindo-se araras azuis e madeiras de lei como a aroeira e o ipê que estão ameaçadas pela exploração de calcáreo e pela extração madeireira, merecendo especial cuidado no estabelecimento de um sistema de unidades de conservação que preserve a configuração espacial dos fragmentos na diagonal central do Brasil.

Do ponto de vista hidrológico, por conter zonas de planalto, a região possui diversas nascentes de rios e, conseqüentemente, importantes áreas de recarga hídrica, que contribuem para grande parte das bacias hidrográficas brasileiras; sendo necessário um adequado planejamento para ocupação dessas áreas com a aplicação da legislação ambiental e o estabelecimento de um sistema de unidades de conservação que proteja tanto a biodiversidade como os recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, G. C., L. S. Caldas; M. Haridasan & G. Eiten, 1998. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in central Brazil. *Braz. J. Ecol.* 2: 11-23.
- Allaby, M. 1992. *The concise oxford dictionary of botany*. Oxford. Oxford University Press. 442p.
- Andrade Lima, D. 1981. The Caatinga dominium. *Revta Bras. Bot.* v. 4, p. 149-153.
- Assad, E.D. (ed.) 1994. *Chuva nos cerrados*. Análise e espacialização. Embrapa/SPI. Brasília. 423p.
- Burnham, C. P. 1989. Pedological processes and nutrient supply from parent material in tropical soils. In Proctor, J. 1989. *Mineral nutrients in tropical and savannah ecosystems*. p. 27-41. Blackwell, Oxford, UK.
- Canello, E.M. & T.G. Myles, 2000. *Noirotitermes noiroti* (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae): a new genus and new species from northeastern Brazil. *Sociobiology* 36(3):531-546.
- Castro, A. A. J. F. 1994. *Comparação florístico-geográfica (Brasil) e fitossociológica (Piauí – São Paulo) de amostras de Cerrado*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil.
- Castro, A. A. J. F., F. R. Martins, J. Y. Tamashiro & G. J. Shepherd. 1999. How rich is the flora of the Brazilian cerrados? *Ann. Missouri Bot. Gard.* 86: 192-224.
- Cochrane, T. T. ; L.G. Sanchez; L.G. Azevedo; J. A. Porras & C.L. Garver, 1985. *Land in tropical America*. Cali. CIAT/EMBRAPA- CPAC. 3 vols.
- Cartelle, C. 2000. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. pp. 27-46. In J. F. Eisenberg & K. H. Redford (eds.), *Mammals of the neotropics*, The central neotropics, Vol. 3. The University of Chicago Press, Chicago.
- Colli, G.R., Reis, R.P. & Araújo, A.F.B. 2002 The character and dynamics of the Cerrado herpetofauna. Pp 223-241. In: Oliveira, P.S. and R. J. Marquis, (Eds.). *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. p. 223-2452. Columbia University Press, New York.
- Delitti, W. B. C., J. G. Pausas & D. M. Burger, 2001. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Ann. For. Sci.* 58:713-721.
- Felfili, J. M.; M. C. Silva Junior, 1992. Floristics composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forest at Fazenda Água Limpa. Pp. 393-415. In: Furley, P.A.;

- Proctor, J. & J.A. Ratter (Org.). *Nature and dynamics of forest/savanas boundaries*. p. 339-415. Blackwells, London.
- \_\_\_\_ & M.C. Silva Júnior. 1993. A comparative study of cerrado (sensu stricto) vegetation in central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*. 9: 277-289.
- \_\_\_\_ & M.C. Silva Júnior (orgs.) 2001. *Biogeografia do bioma Cerrado. Estudo fitofisionômico na chapada do espigão Mestre do São Francisco*. UnB. Brasília, DF.
- \_\_\_\_; T.S. Filgueiras; M. Haridasan; M.C., Silva Júnior, R. Mendonça & A.V. Rezende, 1994 Projeto biogeografia do bioma cerrado: vegetação e solos. *Cadernos de geociências do IBGE* 12: 75-166.
- \_\_\_\_. 1997. Comparison of the dynamics of two gallery forests in Central Brasil. p. 115-124. In: *Proceedings of the international symposium on assessment and monitoring of forests in the Tropics*. Universidade de Brasília, Brasília.
- \_\_\_\_; M. C. Silva Júnior; A. V. Rrezende; P. E. Nogueira; B. M. T. Walter; M. A. Silva & J. I. Encinas, 1997. Comparação florística e fitossociológica do cerrado nas Chapadas Pratinha e dos Veadeiros. In: Leite, L. & Saito, C. *Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado*. p. 6-11. UnB. Brasília-DF.
- \_\_\_\_ & H. A. M. Abreu, 1999. Regeneração natural de *Roupala montana* Aubl., *Piptocapha macropoda* Back. e *Persea fusca* Mez. em quatro condições ambientais em mata de galeria na mata de galeria do Gama-D.F. *Cerne* . 6(2): 125-132.
- \_\_\_\_; A. C. Franco; C. W. Fagg & J. C. Sousa-Silva, 2001. Desenvolvimento inicial de espécies de mata de galeria. In J.F. Ribeiro, C.E.L. Fonseca & J.C. Sousa-Silva (Eds.). *Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria*. p. 779-881. EMBRAPA, Planaltina, DF.
- \_\_\_\_. 2003. Fragmentos de florestas estacionais do Brasil Central: diagnóstico e proposta de corredores ecológicos. In: Costa, R.B. (Org.) *Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste*. Campo Grande: UCDB. p. 139-160.
- \_\_\_\_; M. C. Silva Júnior; A.C. Sevilha; C.W. Fagg; B. M. T. Walter; P. E. Nogueira & A. V. Rezende. 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in central Brasil. *Plant Ecology* 175: 37-46.
- Fonseca, G. A. B., G. Hermann & Y. L. Leite, R. 2000. Macrogeography of brazilian mammals. pp. 549-563. In Eisenberg, J. F. & Redford, K. H. (Eds.). *Mammals of the Neotropics: the Central Neotropics*. Vol. 3. The University of Chicago Press.
- Gleeson, S. K. & D. Tilman 1992. Plant allocation and the multiple limitation hypothesis. *American Naturalist* 139: 1322-1343.
- Lara, A.C.F. & G.W. Fernandes, 1996. The highest diversity of galling insects: Serra do Cipó, Brazil. *Biodivers. Lett.* 3: 111-114.
- Marinho-Filho, J., M.L. Reis, P.S. Oliveira, E. M. Vieira & M.N. Paes, 1994. Diversity standards and small mammal numbers: conservation of the cerrado biodiversity. *Anais Acad. Bras. Ciênc.* 66 (Supl. 1):149-156.
- Mittermeyer, R.A.; N. Myers & C.G. Mittermeyer, 1999. *Hotspots Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. New York. CEMEX, Conservation International. 430p.
- Mendonça, R. C.; J. M. Felfili; B. M. T. Walter, M. C. Silva Júnior, A. V. Rezende; T. S. Filgueiras & P. E. N. Silva, (1998). Flora vascular do cerrado. In: Sano, S. M., & Almeida, S.D. P., (Eds). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF, Brazil: EMBRAPA-CPAC. p. 288-556.
- Moreira, A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *J. Biogeogr.* 27: 0121-1029.
- Moreira, A. G. & C. A. Klink, 2000. Biomass allocation and growth of tree seedlings from two contrasting Brazilian savannas. *Ecotropics* 13: 43-51.

- Nascimento, A. R. T., Felfili, J. M., E. M. Meirelles, 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.
- Nepstad, D.; Moutinho, P. R. S. & Markewitz, D. 2001. The recovery of biomass, nutrient stocks, and deep soil functions in secondary forests. In McClain, M. E.; R. L. Victoria & J. E. Richey (Eds.) *Biogeochemistry of the Amazon basin and its role in a changing world*. Oxford University Press, New York. 139-155.
- Paulilo, M. T. S. & G. M. Felipe, 1998. Growth of the shrub-tree flora of the Brazilian cerrados: a review. *Trop. Ecol.* 39: 165-174.
- Pott, A. & J. V. Pott. Espécies de fragmentos florestais do Mato Grosso do Sul. In: Costa, R.B. (Org.) *Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste*. p. 26-52. Campo Grande: UCDB.
- Ratter, J.A. & T. C. D. Dargie, 1992. An analysis of the Floristic Composition of 26 Cerrado Areas in Brazil. *Edinb. J. Bot.* 49: 235-250.
- Ratter, J. A.; Bridgewater, S.; Atkinson, R & J. F. Ribeiro, 1996. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinb. J. Bot.* 53: 153-180.
- Ratter, J. A.; S. Bridgewater & J. F. Ribeiro, 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinb. J. Bot.* 60 (1) : 57 – 109.
- Ribeiro, J. F. & B. M. T. Walter. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. In Sano, S. M. & S. P. Almeida (Eds.) *Cerrado: ambiente e flora*. p. 89-166. EMRAPA-CPAC, Planaltina, DF.
- Silva Júnior, M. C.; J. M. Felfili; B. M. T. Walter; P. E. Nogueira; A. V. Rezende; R.O. Moraes & M. G. G. Nóbrega 2001. Análise da flora arbórea de Matas de Galeria no Distrito Federal: 21 levantamentos. In J. F. Ribeiro, C. E. L. da Fonseca e J. C. Sousa-Silva (Eds.). *Cerrado caracterização e recuperação de matas de galeria*. p. 143-191. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brasil.
- Silva, J. M. C. 1996. The distribution of Amazonian and Atlantic forest elements in the gallery forests of the Cerrado region. *Ornitologia Neotrop.* 7:1-18.
- Silva, J.M.C. & J. M. Bates, 2002. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *Bioscience* 52:225-233.
- Scariot, A. & A. C. Sevilha. 2003. Desmatamento e fragmentação do Cerrado: destruição das florestas estacionais e a conservação da biodiversidade. p. 163-169 In: V. Claudino-Sales, ed. *Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação*. Fortaleza, CE.
- Sevilha, A. C., A. O. Scariot & Noronha, S. 2004. Estado atual da representatividade de unidades de conservação em Florestas Estacionais Deciduais no Brasil. *Anais do 55º Congresso Nacional de Botânica*. Viçosa, MG.
- Wanntorp, H. E., D. R. Brooks; T. Nilsson; S. Nylin; F. Ronquist; S. C. Stearns & N. Wedell, 1990. Phylogenetic approaches in ecology. *Oikos* 57:119-132.
- Willis, E. O. 1992. Zoogeographical origins of eastern Brazilian birds. *Ornitologia Neotrop.*, 3:1-15.
- Whelan, R. J. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, London, UK.

# Parte I

FOTO: ALDJICIR SCARIOT

## Determinantes Abióticos



An aerial photograph of a Cerrado landscape. The foreground shows a dirt road winding through a grassy field. In the middle ground, there are several small, dark, rounded trees. The background consists of rolling hills under a blue sky with scattered white clouds.

# Capítulo 1

Classes de solo  
em relação aos  
controles da paisagem  
do bioma Cerrado

FOTO: EDER MARTINS

**Adriana Reatto**  
**Éder de Souza Martins**  
Embrapa Cerrados  
Planaltina, DF



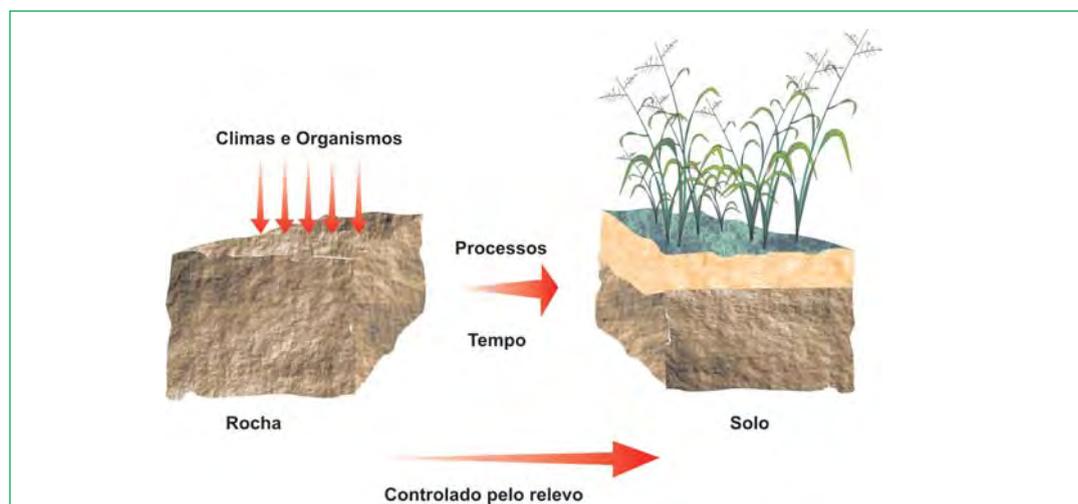


## INTRODUÇÃO

O conceito de paisagem pode ser definido no espaço como um território, ou uma região resultante de ações estáticas e dinâmicas em uma escala de observação. Essas ações são reflexos das interações entre diversos fatores ambientais que podem ser subdivididos em bióticos, ação dos organismos e do homem, e abióticos, ação do clima, características das rochas, relevo, que se interagem e se modificam ao longo do tempo. A definição clássica de solo é o resultado de cinco variáveis *interdependentes*, denominadas fatores de

formação do solo, que são: clima, organismos, material de origem, relevo e tempo. O material de origem e o relevo são considerados fatores ambientais passivos, que se modificam pela atuação dos outros fatores. Os outros fatores ambientais – clima e organismos – são considerados ativos. O clima age sobre as rochas, transformando-as em solos e sedimentos (Figura 1).

Este capítulo tem como objetivo estudar as relações entre as classes de solos e os controles de paisagem<sup>1</sup> nos seguintes domínios físicos: geológico, geomorfológico, hídrico, climático e fitofisionômico.



**Figura 1**  
Fatores de formação do solo e pedogênese.

<sup>1</sup> Controle de paisagem será abordado no texto como um domínio físico de fatores ambientais inter-relacionados com as classes de solos: composição e estrutura dos materiais de origem, formas de relevo, comportamento hídrico, clima e fitofisionomia.

## PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DO BIOMA CERRADO

### Latossolos

São solos altamente intemperizados, resultantes da remoção de sílica e de bases trocáveis do perfil (Buol *et al.*, 1981; Resende *et al.*, 1995). Na paisagem ocorre em relevo plano a suave-ondulado, solo muito profundo, poroso, de textura homogênea ao longo do perfil e de drenagens variando de bem, forte a acentuadamente drenado. No bioma Cerrado, estima-se uma ocorrência de aproximadamente 46% da superfície total da região com base no Mapa de Solos do Brasil na escala 1:5.000.000, (Reatto *et al.*, 1998). Esta classe é representada por: Latossolo Vermelho (LV), correspondendo ao Latossolo Roxo e ao Latossolo Vermelho-Escuro, na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987), com 22,1 % da área do bioma Cerrado; Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), denominados de Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo, na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987), com 21,6% da área e Latossolo Amarelo (LA) denominados de Latossolo Amarelo e Latossolo Variação Una, na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987), com 2,0% da área. A composição mineralógica destes solos é dominada por silicatos como a caulinita e (ou) sob a forma de óxidos e oxihidróxidos de Fe e Al como hematita, goethita, gibbsita e outros. Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### Neossolos Quartzarênicos

Geralmente são solos profundos (com menos 2m), apresentando textura arenosa ou franco-arenosa, constituídos

essencialmente de quartzo, com máximo de 15% de argila, são muito porosos e excessivamente drenados, normalmente em relevo plano ou suave-ondulado. No bioma Cerrado, estima-se uma ocorrência de aproximadamente 15% da superfície total da região (Reatto *et al.*, 1998), denominados de Areias Quartzosas, na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987).

Estes solos possuem baixa capacidade de troca catiônica em consequência dos teores baixos em argila e de matéria orgânica, mineralogicamente são dominados por quartzo, portanto com baixa reserva de nutrientes para as plantas. Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### Argissolos

Formam classes de solos bastante heterogênea, que tem em comum aumento substancial no teor de argila com a profundidade e (ou) evidências de movimentação de argila do horizonte superficial para o horizonte subsuperficial, denominado de B textural. No bioma Cerrado, estima-se uma ocorrência de aproximadamente de 15% da superfície total da região (Reatto *et al.*, 1998), denominados de Argissolo Vermelho (PV), com 6,9 % da área e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), com 8,2% e na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987), respectivamente Podzólico Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo. Ocupam, na paisagem, a porção inferior das encostas, em geral nas encostas côncavas, onde o relevo apresenta-se ondulado (8 a 20% de

declive) ou forte-ondulado (20 a 45% de declive). Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### Nitossolos Vermelhos

Classes de solos derivados de rochas básicas e ultrabásicas, ricas em minerais ferromagnesianos, ou com influência de carbonatos no material de origem, apresentam semelhança com os Argissolos porém com gradiente textural menos expressivo. Sua cor vermelha-escuro tende à arroxeada. Possui estrutura normalmente bem desenvolvida no horizonte B textural (Bt), conferida por ser prismática ou em blocos subangulares. A cerosidade em geral é expressiva. No bioma Cerrado, estima-se uma ocorrência de aproximadamente de 1,7% da superfície total da região (Reatto *et al.*, 1998), denominados de Terra Roxa Estruturada, na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987). Ocupam as porções média e inferior de encostas onduladas até forte-onduladas. A vegetação original, quando remanescente, normalmente é Mata Seca Semidecídua. Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### Cambissolos

Geralmente apresentam minerais primários facilmente intemperizáveis, teores mais elevados de silte, indicando baixo grau de intemperização e com um horizonte B incipiente. Podem ser desde rasos a profundos, com profundidade atingindo entre 0,2 a 1m. São identificados no campo pela presença de

mica na massa do solo em alguns solos, outros pela sensação de sedosidade na textura, devido ao silte. No Cerrado correspondem a aproximadamente 3,1% (Reatto *et al.*, 1998). Geralmente estão associados a relevos mais movimentados (ondulados e forte-ondulados), mas não exclui os relevos planos a suave-ondulados. Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### Chernossolos

Correspondem às antigas classes Brunizém e Brunizém Avermelhado (Camargo *et al.*, 1987). São solos não-hidromórficos, pouco profundos, eutróficos, com um horizonte A chernozêmico<sup>2</sup> sob um horizonte B textural ou B incipiente, com argila de atividade alta. São solos com boa disponibilidade de nutrientes. No bioma Cerrado correspondem a menos de 0,1% (Reatto *et al.*, 1998). Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### Plintossolos

Estas classes correspondem às antiga Laterita Hidromórfica (Adámoli *et al.*, 1986) e (ou) Concrecionários Lateríticos (Resende *et al.*, 1988). São solos minerais, hidromórficos, com séria restrição à percolação de água, encontrados em situações de alagamento temporário e, portanto, escoamento lento em épocas atuais ou pretéritas as quais não são mais evidenciados situações de hidromorfismo. Ocorrem em relevo plano e suave-ondulado, em áreas

<sup>2</sup> **Horizonte A Chernozêmico** - Horizonte mineral de cor escura e saturação em bases maior ou igual a 65%, com predomínio de Ca e Mg. O carbono orgânico apresenta valores iguais a maiores que 0,6%. A estrutura apresenta agregação e grau de desenvolvimento moderado ou forte. A espessura pode variar, sendo maior ou igual a: 10cm se o solo não tiver horizontes B e C; 18cm para solos com espessura < 75cm; para solos com espessura maiores ou igual a 75cm.

deprimidas e nos terços inferiores da encosta os Plintossolos Háplicos, com 6% da área ou nas bordas das chapadas os Plintossolos Pétricos, correspondendo a 3% da área total do Cerrado (Reatto *et al.*, 1998). Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### **Gleissolos**

São solos hidromórficos, que ocupam geralmente as depressões da paisagem, sujeitas a inundações. Apresentam drenagem dos tipos: mal drenado ou muito mal drenado, ocorrendo, com frequência, espessa camada escura de matéria orgânica mal decomposta sobre uma camada acinzentada (gleizada), resultante de ambiente de oxirredução. No Cerrado, a área estimada desses solos é de 2,3%, denominados de Gleissolo Melânico (Gley Húmico) e Gleissolo Háplico (Gley Pouco Húmico), na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987). Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### **Neossolos Litólicos**

São solos rasos, associados a muitos afloramentos de rocha. No Cerrado correspondem a aproximadamente 7,3% (Reatto *et al.*, 1998), denominados de Solos Litólicos, na antiga classificação (Camargo *et al.*, 1987). São pouco evoluídos, com horizonte A assentado diretamente sobre a rocha (R) ou sobre o horizonte C pouco espesso. Normalmente ocorrem em áreas bastante acidentadas, relevo ondulado até montanhoso.

### **Neossolos Flúvicos**

São solos minerais, pouco evoluídos, formados por uma sucessão de camadas

estratificadas sem relação pedogenética entre si e comumente acompanhada por uma distribuição irregular de matéria orgânica variando de estrato para estrato. Esta classe era denominada de Aluvial segundo Camargo *et al.*, 1987. Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

### **Organossolos Mésico ou Háplico**

Compreendem solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico proveniente de acumulações de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambiente mal drenado, de coloração escura, (Embrapa, 1999). Esta classe era denominada de Orgânico, segundo Camargo *et al.*, 1987. Os respectivos controles físicos da paisagem para essas classes de solos podem ser visualizados na Tabela 1.

## **CONTROLES DA PAISAGEM NO BIOMA CERRADO**

### **Controle geológico**

De acordo com Almeida *et al.*, 1984, o Brasil possui 10 províncias estruturais, sendo que seis destas estão situadas no bioma Cerrado. As províncias são as seguintes: Tocantins, Paraná, Parnaíba, Tapajós, São Francisco e Mantiqueira. Tocantins ocupa a região nuclear do Cerrado, representando mais de 60%, enquanto as outras estão situadas nas transições com outros biomas.

As rochas que ocorrem na Província Tocantins têm sua composição bastante variável. No setor leste desta província dominam rochas metassedimentares de composição pelítica (compostas por materiais onde dominam frações argila e silte), psamítica (compostas por fração areia ou maior) e carbonáticas. No setor

central ocorrem grandes variações de tipos petrográficos. Rochas metaígneas máfico-ultramáficas (ex. Maciço Máfico-Ultramáfico de Niquelândia, Complexo Máfico-Ultramáfico de Itauçu-Anápolis) e ácidas (ex. granitos de Rubiataba) ocorrem adjacentes às rochas metassedimentares pelíticas. No setor centro-oeste dominam rochas granito-gnáissicas entrecortadas por matabasitos, de composição básica. No setor noroeste dominam rochas metassedimentares de composição psamítica e pelítica. Essas variações de composição litológica condicionam os tipos de perfis de intemperismo da região, as características de fertilidade natural dos solos e condiciona as formas de relevo.

### Controle geomorfológico

As paisagens do domínio morfoclimático do Cerrado, definidas por superfícies residuais de aplainamento – designadas como chapadas – com diferentes graus de dissecação, resultam de uma prolongada interação de regime climático tropical semi-úmido com fatores lito-estruturais, edáficos e bióticos (Ab’Saber, 1977).

Os resíduos de aplainamento são fortemente controlados pela lito-estrutura. Há uma tendência geral dos resíduos de aplainamento serem mais extensos, quando o acamamento das rochas é próximo da horizontal. De forma inversa, a dissecação aumenta sua influência, quando o acamamento apresenta caimento elevado (Martins, 2000).

Ocorrem dois principais tipos morfológicos de resíduos de superfícies de aplainamento. O tipo I ocorre sobre rochas metamórficas (Ia) e sedimentares (Ib), na porção nuclear do Cerrado e nas bacias intracratônicas, respectivamente. A característica morfológica que define

esse tipo de superfície é a sua posição nas porções mais elevadas da paisagem.

O subtipo (Ia) apresenta perfis de intemperismo espessos, da ordem de dezenas a centenas de metros. Ocorre nível de couraça laterítica em seu topo ou na base do horizonte de *solum*, em diversos graus de degradação física e química. A dissecação deste subtipo é controlada pela organização e composição das rochas. Quando a rocha não mostra variações laterais em sua composição, as vertentes dissecadas dos resíduos tendem a ser côncavas e a apresentar transição brusca entre as porções planas de topo e as porções íngremes de encosta. Por outro lado, quando as variações laterais na composição das rochas são importantes, as vertentes dos resíduos tendem a apresentar uma borda convexa, na forma de uma transição suave entre as porções planas de topo e as porções íngremes de encosta. O recuo dos resíduos de aplainamento é limitado geralmente pelo nível de couraça laterítica.

O subtipo (Ib) é o mais comum de se desenvolver sobre rochas sedimentares. Rampas longas, na forma de *cuestas*, condicionadas pelo caimento suave das camadas é o mais típico dessas regiões. A dissecação tende a ser linear, acompanhando zonas de fraturas e (ou) de falhas.

O tipo II ocorre sobre rochas metamórficas, especialmente nas porções periféricas e em algumas bacias hidrográficas na porção nuclear do bioma Cerrado, principalmente as tributárias do rio Tocantins, como é o caso do vão do Paranã e na planície do Tocantinzinho. Os limites do bioma Cerrado, sobre rochas metamórficas e ígneas apresentam esse tipo de superfície. Ocorre também nas porções mais elevadas da Chapada dos

Veadeiros. Geralmente, está associada a relevos na forma de serras.

Essas extensas superfícies planas são retocadas por córregos e rios, com baixo grau de aprofundamento de drenagem. A característica que define o tipo II é a presença de relevos mais positivos que a superfície plana, na forma de *inselbergs* e conjuntos de serras. Outra característica importante é o pequeno desenvolvimento do perfil de intemperismo, com rochas frescas aflorantes ou em pequena profundidade, na ordem de alguns metros. A presença de couraças lateríticas também é comum, mas pouco desenvolvidas e geralmente associadas a horizonte de linha de pedras (ing., *stone line profiles*).

As regiões dissecadas, adjacentes aos resíduos de aplainamento descritos, são controladas também pela lito-estrutura.

As porções dissecadas, adjacentes às superfícies do tipo I, geralmente apresentam saprólitos e (ou) solos espessos, aumentando a influência destes no desenvolvimento das drenagens. As porções dissecadas associadas ao tipo II, geralmente apresentam saprólitos e solos rasos, aumentando a influência da rocha no desenvolvimento das drenagens.

### Controle hídrico

A maior densidade de drenagem em relevo acidentado no bioma Cerrado está associada à maior abundância das Matas de Galeria, controlada por materiais com baixa permeabilidade. A menor densidade de drenagens está associada a materiais com alta permeabilidade e menor abundância de Matas de Galeria (Martins *et al.*, 2001). Esses materiais podem constituir rochas, saprólitos ou

solos. As rochas, saprólitos e solos argilosos de estrutura maciça tendem a apresentar permeabilidade baixa. As rochas e saprólitos arenosos, além dos solos com estrutura granular, tendem a apresentar permeabilidade elevada.

As drenagens formadas sobre rochas metamórficas geralmente são assimétricas devido ao caimento das camadas. As vertentes que apresentam inclinação no mesmo sentido do caimento das camadas tendem a ser mais suaves e a apresentar solos mais desenvolvidos que as vertentes que apresentam inclinação oposta ao sentido do caimento das camadas. Neste último caso, a transição entre a vertente e o canal de drenagem tende a ser brusca, em relevos movimentados.

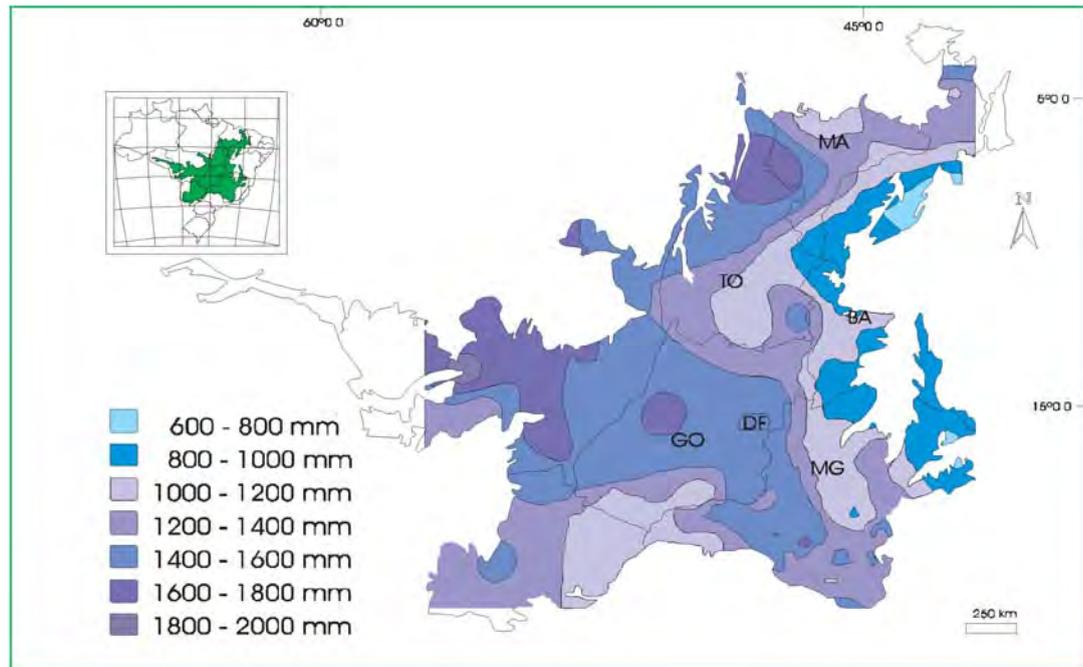
Estas vertentes e as áreas com maior densidade de drenagens geralmente apresentam menor aptidão agrícola e são típicas de agricultura familiar ou de subsistência, o que leva o agricultor a utilizar os recursos das Matas de Galeria como forma de capitalização.

### Controle climático

O bioma Cerrado apresenta características climáticas próprias, com precipitações variando entre 600 a 800mm no limite com a Caatinga e de 2.000 a 2.200mm na interface com a Amazônia (Figura 2). Com esta particularidade, existe uma grande variabilidade de solos, bem como, diferentes níveis de intemperização.

Dois parâmetros devem ser considerados, uma vez que definem o clima estacional do bioma: a precipitação média anual de 1.200 a 1.800mm e a duração do período seco, que oscila entre cinco a seis meses, denominado de veranico. Na região amazônica o *déficit*

**Figura 2**  
Índices pluviométricos do bioma Cerrado.  
**Fonte**  
Laboratório de Biofísica Ambiental, Embrapa Cerrados.



hídrico é inferior a três meses e na Caatinga entre sete a oito meses (Adámoli *et al.*, 1986; Assad e Evangelista, 1994).

### Controle fitofisionômico

O bioma Cerrado apresenta vegetação cujas fisionomias englobam formações florestais, savânicas e campestres. Em sentido fisionômico, **floresta** é a área com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo. As formações florestais são representadas por Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão. **Savana** é a área com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato gramíneo onde não há formação de dossel contínuo. As formações savânicas são representadas por Cerrado: denso, típico, ralo e rupestre; Vereda, Parque de Cerrado e Palmeiral. O termo **campo** designa áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, observando-se a inexistência de árvores na paisagem. As formações campestres são representadas por

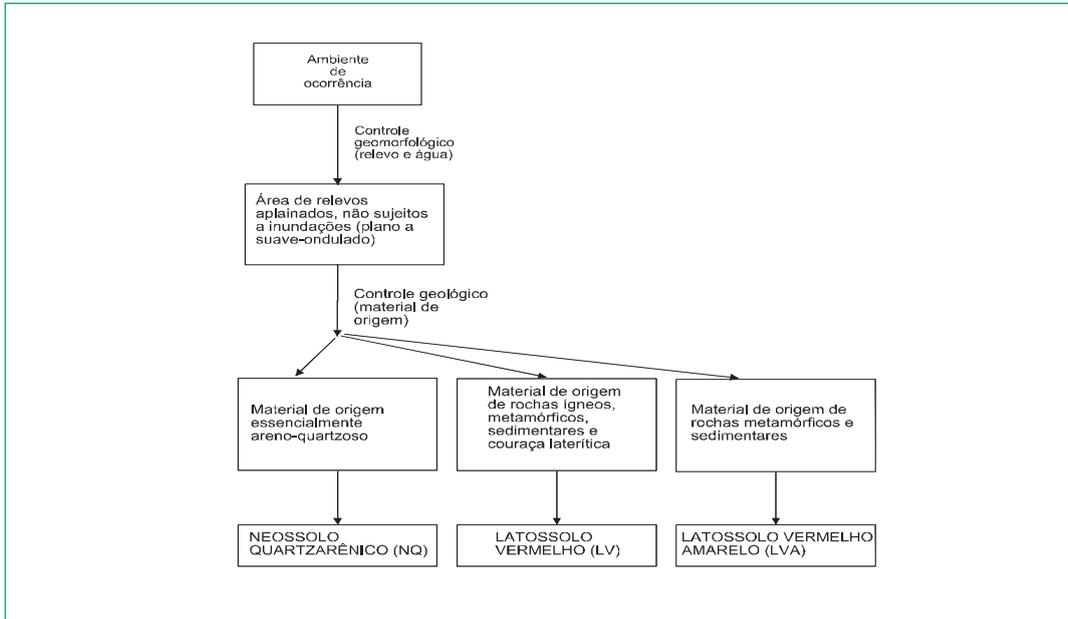
Campo: sujo, limpo e rupestre (Ribeiro *et al.*, 1983 e Ribeiro & Walter, 1998).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

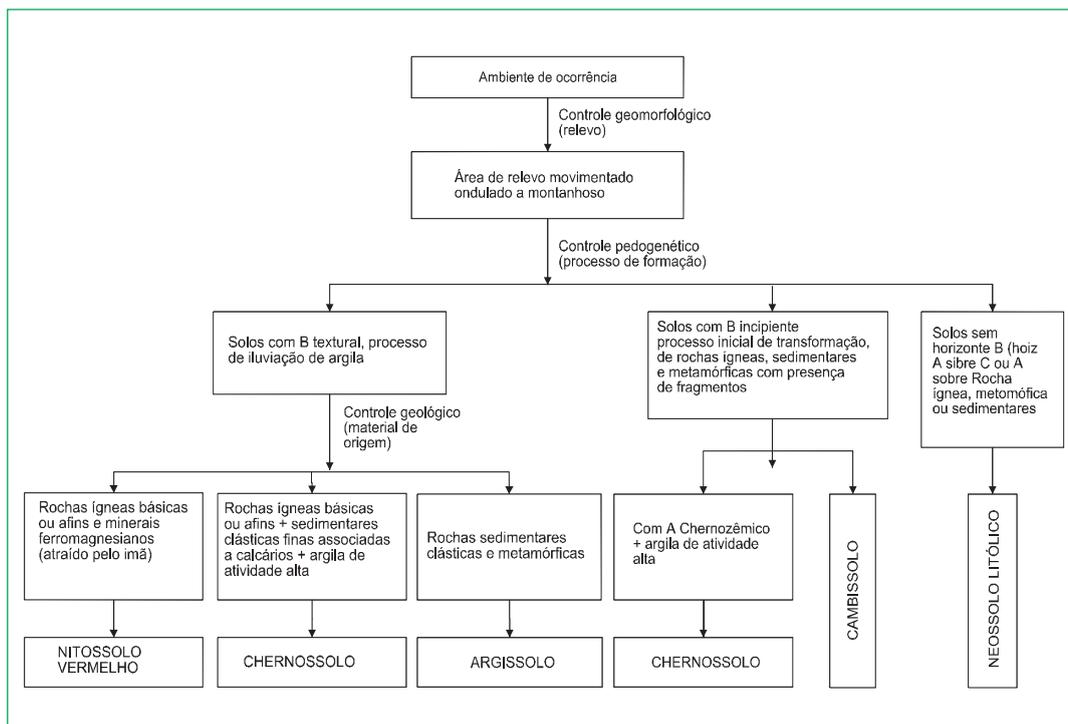
A **cor do solo** é uma característica intrínseca de cada classe de solo, a ela é atribuída uma importância muito grande na identificação e distinção dos solos. Assim, por intermédio da cor, pode-se compreender o comportamento do ambiente que nos cerca, já que o solo está associado aos controles da paisagem nos seus aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, hídricos e fitofisionômicos (Resende *et al.*, 1988; Prado, 1991, 1995a, 1995b). Por meio da caderneta de Munsell (1975) a padronização das cores tornou-se universal e compreendida nos diversos campos da ciência do solo, principalmente na pedologia, onde por intermédio do matiz, valor e croma dos solos é possível diferenciá-los em classes. A Tabela 1 procura enfatizar como a cor é capaz de diagnosticar a relação das classes de solos com os controles da paisagem. A Figura 3 mostra uma chave

de identificação para distinguir as classes Neossolo quartzarênico de Latossolos, por meio dos controles da paisagem, especificamente o geológico. A Figura 4 indica como o controle geomorfológico associado ao

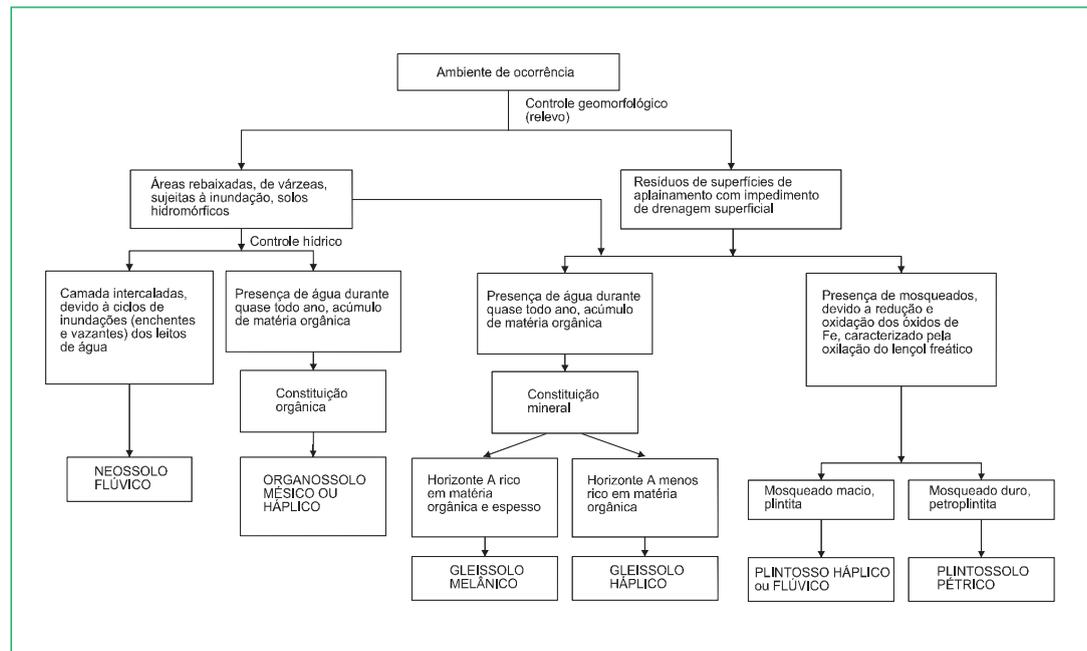
controle pedogenético distingue as classes com B textural e B incipiente. Já a Figura 5, por intermédio dos controles geomorfológicos e hídricos variados, identifica as classes de solos em ambiente de hidromorfismo.



**Figura 3** Fluxograma de identificação dos controles da paisagem de Neossolo Quartzarênico e Latossolos .



**Figura 4** Fluxograma de identificação dos controles das classes de solos com B textural e B incipiente.



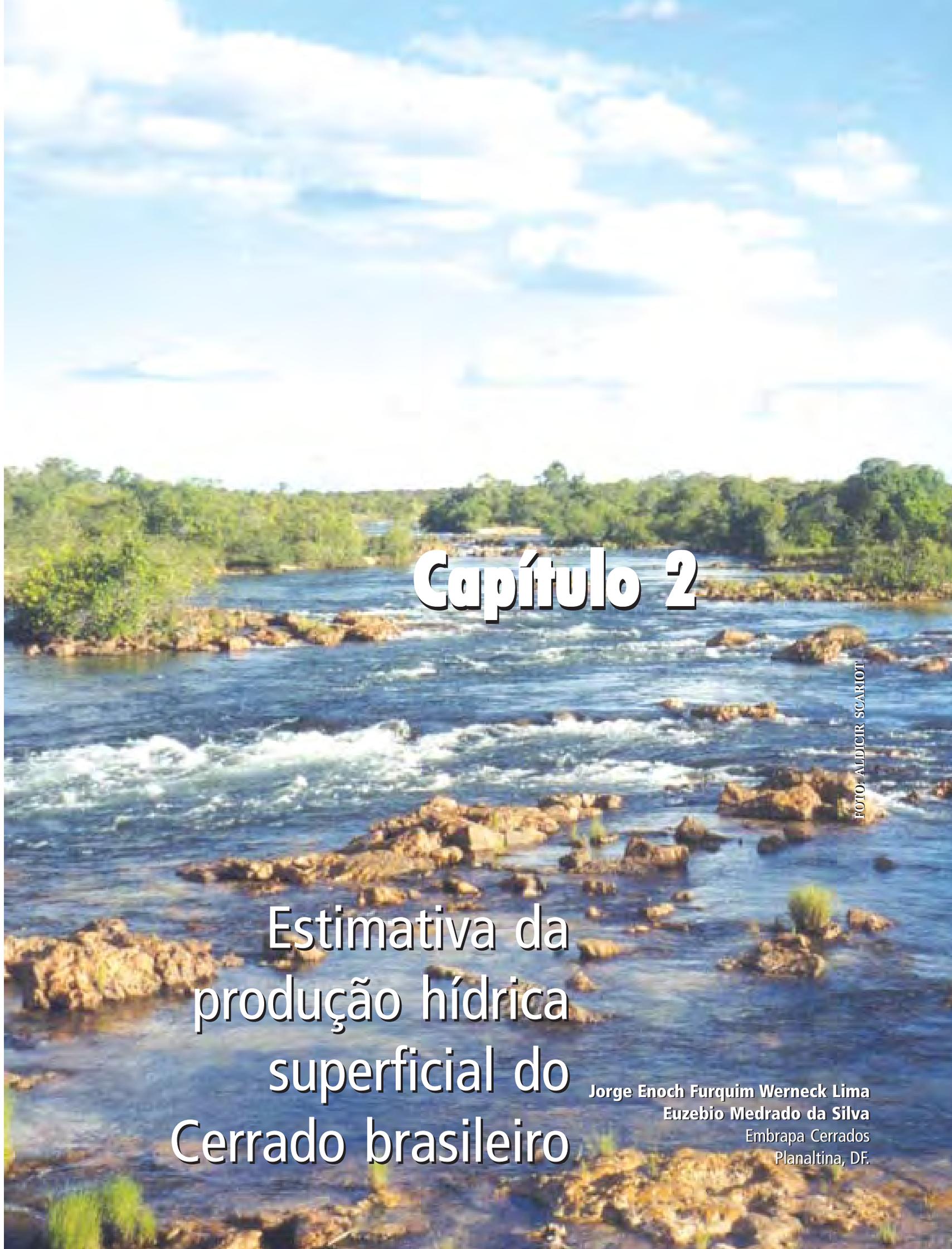
**Figura 5**  
Fluxograma de identificação dos controles da paisagem das classes de solo sob hidromorfismo.

**Tabela 1. Relações entre cor do solo associado às classes de solo e os controles geológicos, geomorfológicos, climático, hídricos, e fitofisionômicos da paisagem.**

COR	MATIZES (Munsell, 1975)	CLASSES DE SOLO	CONTROLES DA PAISAGEM
Vermelha Presença de hematita (α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	10R, 2,5YR, 5YR3/4	LATOSSOLO VERMELHO (LV)	<b>Geológico:</b> Material de origem de rochas ígneas básicas (basalto, gabro), sedimentares (folhelhos, argilitos, ritmitos e margas), metamórficas (ardósia, filito, xisto, metargilitos, metasiltitos, metarritmitos e anfíbolitos), sedimentos argilosos a argilo-arenosos. <b>Geomorfológico:</b> Relevo plano a suave-ondulado, solos profundos a muito profundos. Nas chapadas elevadas como resíduos em topos convexos. Extensivos nas chapadas baixas e superfícies planas embudadas. <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima seco. <b>Hídrico:</b> Perfil sem impedimento de drenagem, podendo ser excessiva, forte e acentuada. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado, cerrado denso, cerrado típico.
		ARGISSOLO VERMELHO (RV)	<b>Geológico:</b> Material de origem de rochas sedimentares (ritmitos, folhelhos e argilitos), metamórficas (ardósia, filito, xisto e metarritmito), rochas ígneas ácidas (granitóides e gnaisses) e sedimentos argilosos a argiloarenosos. <b>Geomorfológico:</b> Relevo suave-ondulado a ondulado, solos pouco profundos a profundos. Ocorre em encostas côncavas ou convexas que limitam superfícies aplainadas e (ou) <i>inselbergs</i> . <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima seco. <b>Hídrico:</b> Perfil com pouco impedimento de drenagem, podendo ser moderada a boa. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado, cerrado denso e cerrado típico.
		ENTOSSOLO VERMELHO (NV)	<b>Geológico:</b> Material de origem de rochas ígneas básicas (basalto, gabro), sedimentares (calcários e margas), e metamórficas (xistos e anfíbolitos). <b>Geomorfológico:</b> Relevo suave-ondulado a ondulado, solos pouco profundos a profundos. Ocorre em encostas côncavas ou convexas que limitam superfícies aplainadas e (ou) <i>inselbergs</i> . <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima seco. <b>Hídrico:</b> Perfil com pouco impedimento de drenagem, podendo ser moderada a boa. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado, cerrado denso, cerrado típico e mata seca (sempre-verde, semidecídua e decídua).
		CAMBISSOLO (C)	<b>Geológico:</b> Material de origem de rochas ígneas básicas (basalto, gabro), sedimentares (folhelhos, argilitos, siltitos, ritmitos e margas), metamórficas (ardósia, filito, xisto, metasiltitos, metargilitos, metarritmitos e anfíbolitos), rochas ígneas ácidas (granitóides e gnaisses), sedimentos argilosos a argilo-arenosos e couraças lateríticas. <b>Geomorfológico:</b> Relevo suave-ondulado a ondulado e montanhoso, solos rasos a pouco profundos. Ocorre em encostas de superfícies aplainadas e relevos residuais. <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima seco. <b>Hídrico:</b> Perfil com impedimento de drenagem com classe moderada. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado típico e cerrado ralo.
Vermelho amarelada Goethita (γ-FeOOH) é o mineral de ferro predominante. Hematita presente em pequenas quantidades.	5YR5/6 7,5YR	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVA)	<b>Geológico:</b> Material de origem de rochas ígneas básicas (basalto, gabro), sedimentares (margas), metamórficas (xistos e anfíbolitos). <b>Geomorfológico:</b> Relevo suave-ondulado a ondulado, solos pouco profundos a profundos. Ocorre em encostas côncavas ou convexas que limitam superfícies aplainadas e (ou) <i>inselbergs</i> . <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima seco. <b>Hídrico:</b> Perfil com pouco impedimento de drenagem, podendo ser moderada a boa. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado, cerrado denso, cerrado típico e mata seca (sempre-verde, semidecídua e decídua).
		ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (RVA)	<b>Geológico:</b> Material de origem de rochas sedimentares (ritmitos, folhelhos e argilitos), metamórficas (ardósia, filito, xisto e metarritmito), rochas ígneas ácidas (granitóides e gnaisses) e sedimentos argilosos a argiloarenosos. <b>Geomorfológico:</b> Relevo suave-ondulado a ondulado, solos pouco profundos a profundos. Ocorre em encostas côncavas ou convexas que limitam superfícies aplainadas e (ou) <i>inselbergs</i> . <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima seco. <b>Hídrico:</b> Perfil com pouco impedimento de drenagem, podendo ser moderada a boa. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado típico.
		CAMBISSOLO (C)	<b>Geológico:</b> Material de origem de rochas sedimentares (folhelhos, argilitos, siltitos, ritmitos e margas), metamórficas (ardósia, filito, xisto, metasiltitos, metargilitos, metarritmitos e anfíbolitos), rochas ígneas ácidas (granitóides e gnaisses). <b>Geomorfológico:</b> Relevo suave-ondulado a ondulado e montanhoso, solos rasos a pouco profundos. Ocorre em encostas de superfícies aplainadas e relevos residuais. <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima seco. <b>Hídrico:</b> Perfil com impedimento de drenagem com classe moderada. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado típico, cerrado ralo, campo sujo seco, campo rupestre.
		NEOSSOLO QUARTZARENICO (RQ)	<b>Geológico:</b> Material de origem de sedimentos: arenosos, areno-quartzosos, areno-ferruginosos e arenosos intercalados com rochas carbonáticas. <b>Geomorfológico:</b> Relevo plano, solos profundos a muito profundos. Nas chapadas elevadas como resíduos em topos convexos. Extensivos nas chapadas baixas. <b>Climático:</b> Clima regional variável. <b>Hídrico:</b> Perfil com excessiva drenagem, com permeabilidade rápida. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado, cerrado denso, cerrado típico.
Amarelada Presença de caulinita. Baixos teores de goethita e ausência da hematita.	7,5YR6/8 10YR, 2,5Y	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVA)	<b>Geológico:</b> Material de origem de sedimentos argilosos e argilo-arenosos. <b>Geomorfológico:</b> Relevo plano, solos profundos a muito profundos. Nas chapadas elevadas como resíduos em topos convexos. Extensivos nas chapadas baixas. <b>Climático:</b> Clima regional variável e pedoclima úmido, distribuição principalmente nas zonas úmidas costeiras. <b>Hídrico:</b> Perfil com boa drenagem, mas com permeabilidade restrita e infiltração lenta. <b>Fitofisionômico:</b> cerrado, cerrado denso, cerrado típico.
Mosqueada, multicolorida. O ferro se encontra na forma reduzida em condições anaeróbicas. Ocorrem em função da oscilação do nível do lençol freático	mosqueado	PLINTOSSOLO (PT)	<b>Geológico:</b> Material de origem de sedimentos argilosos e argilo-arenosos, e couraças lateríticas. <b>Geomorfológico:</b> Relevo plano e suave-ondulado, áreas deprimidas, em planícies aluvionais, nos terços inferiores das encostas, onde há restrição de drenagem, em ambiente hidromórfico, mas pode aparecer (também) em bordas de chapadas onde o controle laterítico se torna presente, sendo comum o Plintossolo Pétrico (PP), em ambiente de hidromorfismo remoto. <b>Climático:</b> Clima regional variável e estação seca definida. <b>Hídrico:</b> Perfil com drenagem imperfeita, com permeabilidade restrita e infiltração lenta e alagamento temporário. <b>Fitofisionômico:</b> campo sujo úmido, parque de cerrado e mata de galeria, campo sujo com murunduns.
Cinza Horizonte glei, caracterizado pela intensa redução do ferro, devido à água estagnada.	GLEI 2,5/N; 2,5Y6/1 a 2,5/1	GLEISSOLO GLEISSOLO HÁPLICO (GX) GLEISSOLO MELÂNICO (GM)	<b>Geológico:</b> Material de origem de sedimentos argilosos e argilo-arenosos, por aportes de colúviação ou de aluvionamento. <b>Geomorfológico:</b> Relevo plano, áreas deprimidas, em planícies aluvionais, normalmente próxima ao leito dos rios, em ambiente hidromórfico. <b>Climático:</b> Clima regional variável. <b>Hídrico:</b> Perfil mal a muito mal drenado, com permeabilidade restrita e infiltração lenta e alagamento temporário. <b>Fitofisionômico:</b> campo sujo úmido, parque de cerrado, mata de galeria, vereda, burizal, campo limpo seco, campo limpo úmido, campo limpo com murunduns.
Variada, intercalada Presença de matéria orgânica em camadas estratificadas diferenciadas pela cor		NEOSSOLO FLUVICO (RL)	<b>Geológico:</b> Material de origem de sedimentos argilosos e argilo-arenosos, por aportes de aluvionamento, em depósitos recentes de origem fluvial, lacustre ou marinha. <b>Geomorfológico:</b> Relevo plano, restrito à margens de cursos d'água, lagoas e planícies costeiras onde geralmente ocupam pequenas porções de várzeas. <b>Climático:</b> Clima regional variável. <b>Hídrico:</b> Perfil mal a muito mal drenado, com permeabilidade restrita e infiltração lenta e alagamento temporário. <b>Fitofisionômico:</b> campo limpo úmido, mata de galeria, vereda e burizal.
Preta	preta	ORGANOSSOLO MÉSICO (OY) ou ORGANOSSOLO HÁPLICO (OX)	<b>Geológico:</b> Material de origem de constituição orgânica. <b>Geomorfológico:</b> Relevo plano, restrito à margens de cursos d'água, lagoas e planícies costeiras onde geralmente ocupam pequenas porções de várzeas. <b>Climático:</b> Clima regional variável. <b>Hídrico:</b> Perfil mal a muito mal drenado, com permeabilidade restrita e infiltração lenta e alagamento temporário. <b>Fitofisionômico:</b> campo limpo úmido, mata de galeria, vereda e burizal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A N. *Os domínios morfoclimáticos na América do Sul*, primeira aproximação. Geomorfologia, São Paulo, (52):17-28. 1977.
- Assad, E. D. & Evangelista, B. A. Análise freqüencial da precipitação pluviométrica. In: Assad, E. D. coord. *Chuvas nos Cerrados: análise e espacialização*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Brasília: EMBRAPA-CPAC: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 25-42.
- Adámoli, J.; Macedo, J.; Azevedo, L. G.; Madeira Neto, J. Caracterização da região dos cerrados In: GOEDERT, W.J. *Solos dos cerrados tecnologias e estratégias de manejo*. [Planaltina, DF]: EMBRAPA-CPAC / São Paulo: Nobel, 1986. p.33-74.
- Almeida F.F.M. & Hasui Y. *O Pré-Cambriano do Brasil*, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 501 p., 1984.
- Buol, S. W.; Holf, F.D.; Mc Cracken, Y. *Genesis y clasificacion de suelos*. Editorial Irillas: México, 1981. 417p.
- Camargo, M.N.; Klamt, E.; Kauffman, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. *Boletim Informativo da S.B.C.S.* v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.
- Martins, E. S. *Petrografia, mineralogia e geomorfologia de rególitos lateríticos no Distrito Federal*. Tese Doutorado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília-DF, 2000. 196 p.
- \_\_\_\_\_; Reatto, A, Correia, J. R. Fatores ambientais que controlam as paisagens de Matas de Galeria no Bioma Cerrado: exemplos e hipóteses. In: Ribeiro, J. F., Fonseca, C. E. L., Sousa-Silva, J. C. *Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.79-114.
- Munsell, *Color soil charts* . Baltimore, 1975. n.p.
- Oliveira, J.B.; Jacomine, P.K.T.; Camargo, M.N. *Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento*. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 210p.
- Prado, H. *Manejo do solo: descrições pedológicas e suas implicações*. São Paulo: Nobel, 1991. 117p.
- \_\_\_\_\_. *Manual de classificação de solos do Brasil*. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995a. 197p.
- \_\_\_\_\_. *A pedologia simplificada*. Piracicaba: POTAFOS, 1995b. 16p. (POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, 1).
- Reatto, A; Correia, J.R.; Spera, S.T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P., ed. *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.47-83.
- Resende, M.; Curi, N.; Resende, S.B.; Corrêa, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.
- \_\_\_\_\_; Curi, N.; Santana, D.P. *Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações*. Brasília: Ministério da Educação/ Lavras/ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 83p.
- \_\_\_\_\_; Ker, J.C.; Bahia Filho, A.F.C. Desenvolvimento sustentado do Cerrado. In: Alavarez, V.V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. *Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS, 1996. p. 169-199.
- Ribeiro, J.F.; Sano, S.M.; Macedo; Silava, J.A. *Os principais tipos fitofisionômicos da região dos cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1983. 28 P. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 21).
- \_\_\_\_\_ & Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M. & Almeida, S. P. ed. *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 89-152.



# Capítulo 2

## Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro

Jorge Enoch Furquim Werneck Lima  
Euzebio Medrado da Silva  
Embrapa Cerrados  
Planaltina, DF.

FOTO: ALDÍCIER SCARIOT





---

## INTRODUÇÃO

O Cerrado constitui o segundo maior bioma brasileiro, ocupando uma área de aproximadamente 204 milhões de hectares (Adámoli *et al.* 1986), o que corresponde a cerca de 24% do território nacional. Com o aumento da população e, conseqüentemente, da demanda por alimentos e outros bens de consumo, nos últimos 40 anos, o Cerrado vem sendo ocupado e explorado de forma rápida e intensiva, principalmente para o desenvolvimento do setor agrícola.

Devido às aptidões naturais e às tecnologias desenvolvidas e amplamente difundidas para o aproveitamento agropecuário da região, em pouco tempo

de exploração, o Cerrado já ocupa posição de destaque no cenário agrícola brasileiro, sendo atualmente responsável por aproximadamente 25% da produção de grãos e 40 % do rebanho nacional (Embrapa Cerrados, 2002).

Segundo Salati *et al.* (1999), a possibilidade de manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas produtivos dentro de uma escala de tempo de décadas ou séculos, especialmente daqueles relacionados com a produção agrícola, dependerá de avanços tecnológicos, de mudanças de estruturas sociais e institucionais, bem como da implementação de mecanismos

de proteção dos recursos naturais centrados na conservação do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade.

Embora o Brasil possua cerca de 13% da produção e 18% da disponibilidade hídrica superficial de todo o planeta, a distribuição da água nas diversas regiões do país ocorre de forma irregular no tempo e no espaço. A região Amazônica, por exemplo, detém mais de 70% da água doce superficial do país e, entretanto, é habitada por apenas 5% da população brasileira. Sendo assim, apenas 27% dos recursos hídricos nacionais estão disponíveis para 95% da população (Lima, 2000).

A má distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos, aliada ao aumento desordenado dos processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola, faz com que problemas de escassez de água sejam cada vez mais comuns no Brasil. Exemplos de conflitos podem ser observados na bacia do rio São Francisco, onde as projeções da demanda por água para a irrigação, para a navegação, para o Projeto de Transposição, para o abastecimento humano e de animais e para a manutenção dos aproveitamentos hidrelétricos, mostram-se preocupantes em relação à disponibilidade hídrica da bacia. No Sudeste, evidenciam-se conflitos nos rios Paraíba do Sul, Piracicaba e Capivari, citando apenas alguns casos. No Sul, a grande demanda hídrica para a irrigação de arrozais e a degradação da qualidade da água, principalmente nas regiões de uso agropecuário intenso, são os casos que se destacam (Lima *et al.*, 1999).

Em se tratando da região Cerrado, segundo Rebouças *et al.* (1999), o Distrito Federal já é a terceira pior unidade federativa brasileira em

disponibilidade hídrica superficial per capita por ano, superando apenas os Estados da Paraíba e de Pernambuco. Planejado, inicialmente, para chegar ao ano 2000, com aproximadamente 500 mil habitantes, neste mesmo ano já havia alcançado a marca de dois milhões (CODEPLAN & IBGE, 2000). Considerando o potencial hídrico superficial do Distrito Federal como igual a 2,8 km<sup>3</sup>/ano (Rebouças *et al.*, 1999), e, sendo a sua população de dois milhões de habitantes, estima-se que a disponibilidade hídrica anual per capita da área seja de aproximadamente 1.400 m<sup>3</sup>/hab.ano. Segundo a classificação apresentada por Beekman (1999), este valor configura um quadro de alerta quanto à possibilidade de ocorrência de conflitos, havendo a necessidade de um manejo cuidadoso dos recursos hídricos da região, de forma a minimizar as restrições sociais, econômicas e ambientais que a falta d'água pode ocasionar.

Apenas para citar um dos problemas já existentes no Distrito Federal, Dolabella (1996), efetuou o confronto entre a oferta e a demanda dos recursos hídricos da bacia do rio Jardim e constatou que estes estavam sendo superexplorados, indicando haver potencialidade para a ocorrência de conflitos e de degradação ambiental na região, em períodos críticos de seca.

Do ponto de vista hidrológico, por conter zonas de planalto, a região de Cerrado possui diversas nascentes de rios e, conseqüentemente, importantes áreas de recarga hídrica, que contribuem para grande parte das bacias hidrográficas brasileiras. Isso ressalta a importância do uso racional dos recursos naturais nestas áreas que, normalmente, possuem baixa capacidade de suporte (fragilidade), estando mais sujeitas a

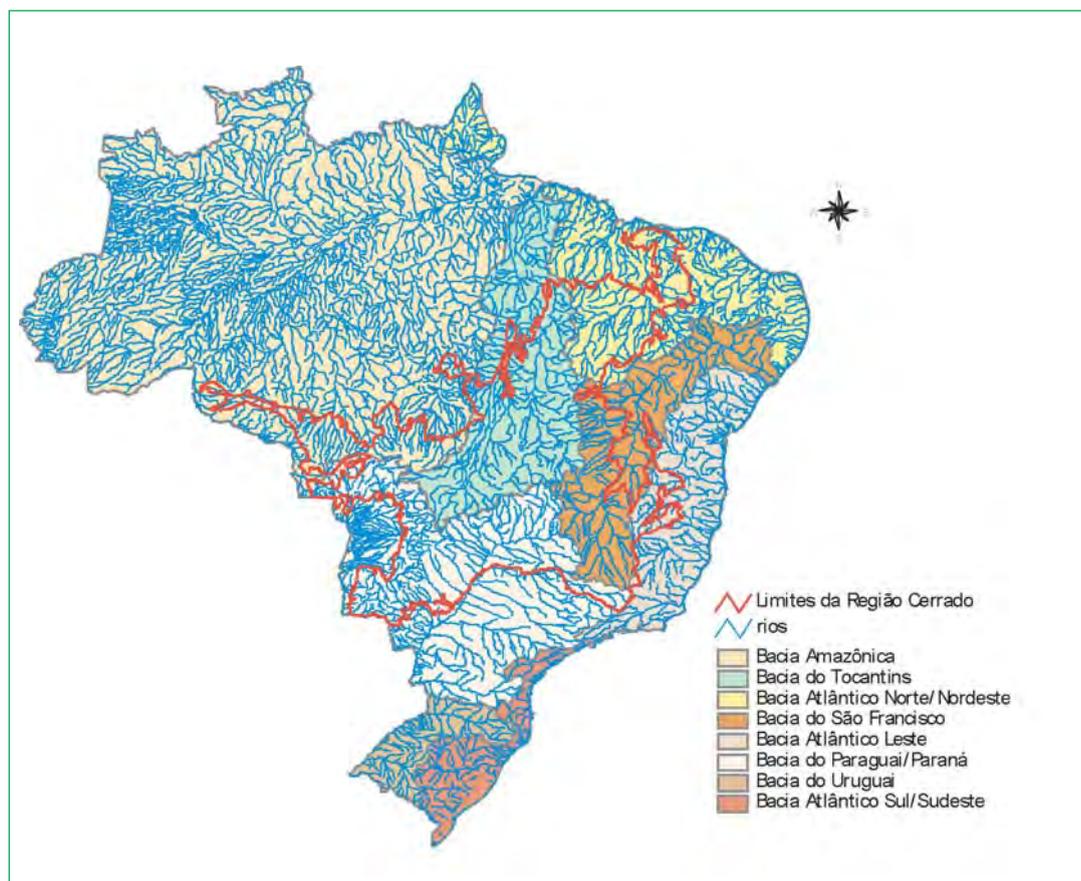
problemas de assoreamento, contaminação (poluição) ou superexploração dos recursos hídricos.

Apenas para reforçar as informações supracitadas, as águas brasileiras drenam para oito grandes bacias hidrográficas, e destas, seis têm nascentes na região do Cerrado. São elas: a bacia Amazônica (rios Xingu, Madeira e Trombetas), a bacia do Tocantins (rios Araguaia e Tocantins), a bacia Atlântico Norte/Nordeste (rios Parnaíba e Itapecuru), a bacia do São Francisco (rios São Francisco, Pará, Paraopeba, das Velhas, Jequitaí, Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e Grande), a bacia Atlântico Leste (rios Pardo e Jequitinhonha) e a bacia dos rios Paraná/Paraguai (rios Paranaíba, Grande, Sucuriú, Verde, Pardo, Cuiabá, São Lourenço, Taquari, Aquidauana, entre outros), conforme apresentado na Figura 1.

O clima do Cerrado pode ser dividido em duas estações bem definidas, uma seca, que tem início no mês de maio, terminando no mês de setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril, com precipitação média anual variando de 600 a 2.000 mm, conforme apresentado na Figura 2 (Assad, 1994). É importante ressaltar que durante o período chuvoso desta região é comum a ocorrência de veranicos, ou seja, períodos sem chuva (Assad, 1994). Portanto, para possibilitar a produção agropecuária nos períodos secos e(ou) assegurar a manutenção da produtividade quando ocorrem veranicos, o uso da água para a irrigação configura-se como uma alternativa importante para o desenvolvimento da região (Assad, 1994).

A grande preocupação quanto ao uso da água para irrigação é que, geralmente,

**Figura 1**  
Representação dos limites do Cerrado em relação às grandes bacias hidrográficas do Brasil.



sua demanda aumenta nos períodos mais secos do ano, quando as vazões são reduzidas. Nessas ocasiões, os conflitos e os danos ambientais podem ser ampliados, ocorrendo com maior frequência e intensidade.

Portanto, considerando a importância do Cerrado, no cenário hidrológico nacional, e a necessidade de que os recursos naturais da região sejam utilizados de forma racional, é essencial conhecer a produção e disponibilidade hídrica das áreas sob este bioma. O objetivo deste capítulo é apresentar uma avaliação preliminar da contribuição hídrica superficial do Cerrado para as grandes bacias hidrográficas brasileiras, visando subsidiar estudos mais aprofundados, além de ações e soluções para o desenvolvimento competitivo e sustentável dessa região.

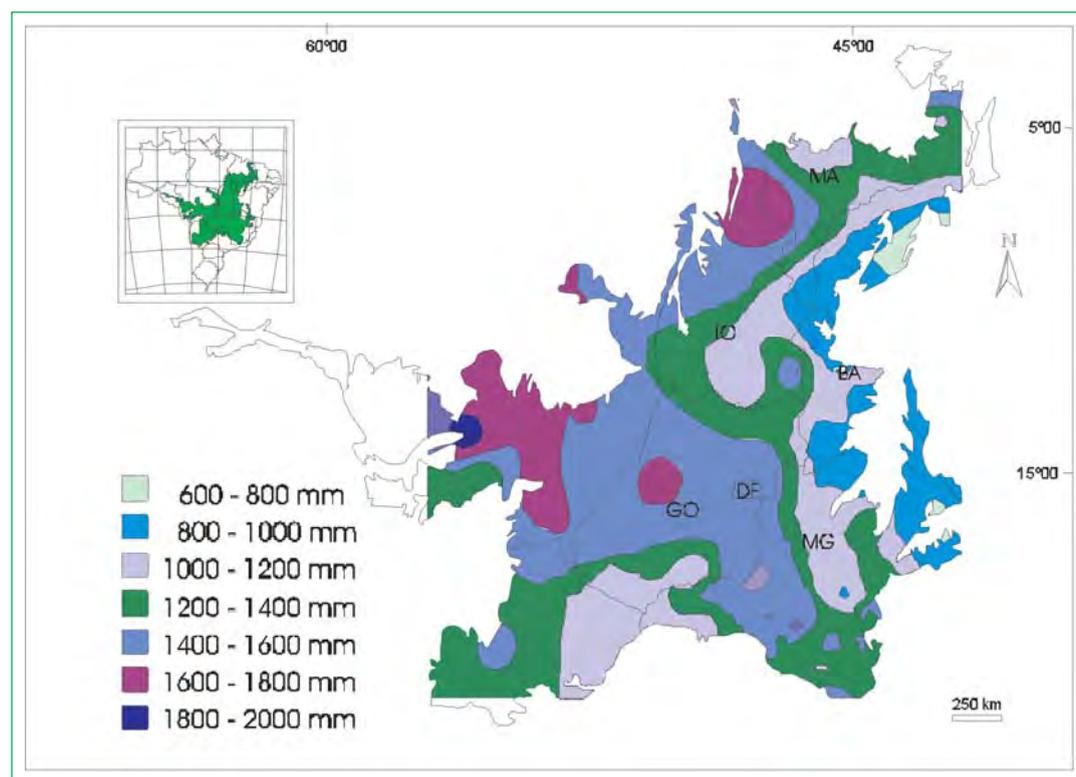
## MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, foram utilizados os dados de vazão das

estações fluviométricas existentes no banco de dados “Hidro”, sob gestão da Agência Nacional de Águas – ANA, disponível no *site* <http://hidroweb.ana.gov.br>. Como esses dados estão classificados como consistidos, eles foram usados diretamente neste trabalho.

Com base na localização das estações fluviométricas existentes na área de Cerrado e na disponibilidade de dados, foram selecionadas e analisadas 34 estações, para realização da estimativa da produção hídrica superficial média da área em estudo.

Por se tratar de uma avaliação de caráter preliminar, não foi analisada a simultaneidade dos dados de diferentes estações, portanto, a vazão média de longo termo (Q<sub>mlt</sub>), apresentada na Tabela 1, refere-se à média aritmética de toda a série existente no banco de dados para cada estação, utilizando valores diários. Além disso, foram adotadas outras simplificações que serão devidamente explicitadas no decorrer do trabalho.



**Figura 2**  
Distribuição espacial da precipitação média anual no Cerrado (Fonte: Assad, 1994).

Em muitos casos, apenas parte da área de drenagem de uma dada estação estava inserida no bioma Cerrado, de modo que foi necessário utilizar ferramentas de geoprocessamento (ArcView) para distingui-las e determiná-las. Conhecida esta área e a vazão média da estação correspondente, estimou-se, proporcionalmente, a produção hídrica referente ao domínio do Cerrado.

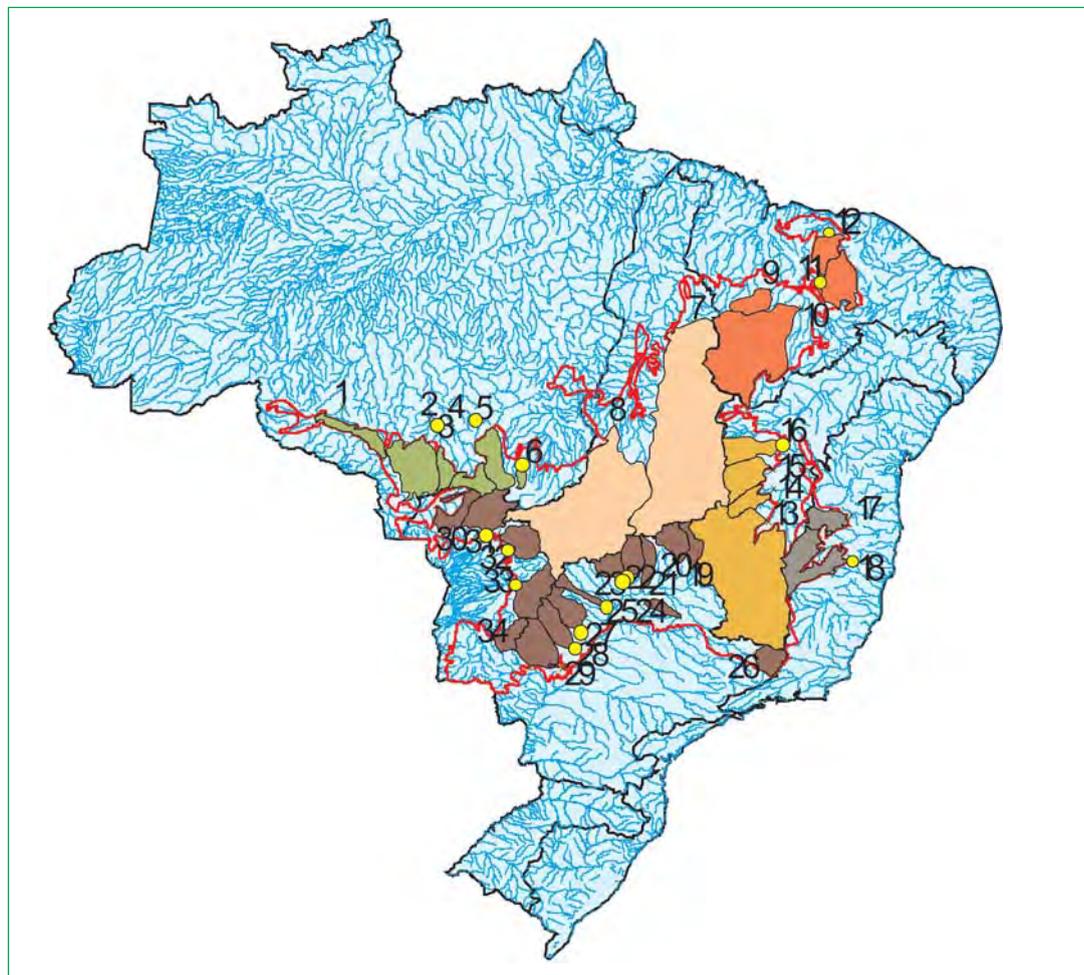
A Figura 3 apresenta as estações utilizadas e suas respectivas áreas de Cerrado, bem como a bacia hidrográfica correspondente.

Observa-se na Figura 3, que os postos fluviométricos existentes não foram suficientes para cobertura completa da área de Cerrado. Foi necessária, então, para estimar a vazão total produzida neste bioma, a realização do estudo em duas etapas. Na primeira,

foram determinadas a produção hídrica total e a vazão específica média nas áreas de Cerrado cobertas por estações fluviométricas, em cada bacia hidrográfica. Em seguida, utilizando a vazão específica média, obtida na primeira etapa, estimou-se a vazão gerada nas áreas sem cobertura de estações fluviométricas. Dessa forma, foi possível estimar a contribuição hídrica total deste bioma, para cada bacia hidrográfica brasileira, a partir da soma dos valores obtidos nas áreas sob Cerrado, com e sem cobertura de estações fluviométricas.

As áreas de Cerrado, integrantes das grandes bacias hidrográficas brasileiras, foram determinadas a partir da Figura 1, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Estes valores estão apresentados na Tabela 2, sob o título “A Cerrado”.

**Figura 3**  
Estações utilizadas no trabalho, numeradas de 1 a 34, e suas respectivas áreas de Cerrado, diferenciadas por cores, de acordo com a bacia hidrográfica em que estão inseridas.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as estações fluviométricas utilizadas neste trabalho, suas respectivas áreas de drenagem e o período de dados usados na determinação da vazão média de longo termo e da vazão específica de cada posto.

O item “A Cerrado” corresponde à fração da área de drenagem de uma dada estação, sob Cerrado. O parâmetro “Q Cerrado” representa a produção hídrica superficial estimada nas áreas de Cerrado, cobertas por estações fluviométricas.

**Tabela 1. Análise dos dados hidrométricos das estações sob influência do bioma Cerrado.**

Nº	Código	Estação	Rio	A. Dren. Km <sup>2</sup>	Período	Q mlt m <sup>3</sup> /s	Q esp. L/s.km <sup>2</sup>	A Cerrado km <sup>2</sup>	Q Cerrado m <sup>3</sup> /s
1	15560000	Jiparaná	Jiparaná	33.012	78-2000	753,50	22,83	16.150	368,62
2	17093000	Fontanilhas	Juruena	52.200	78-97	1.497,25	28,68	47.350	1.358,14
3	17095000	Faz. Tombador	Do Sangue	25.918	84-97	545,02	21,03	9.800	206,08
4	17120000	Porto dos Gaúchos	Arinos	36.913	73-94	762,13	20,65	15.165	313,11
5	17280000	Cachoeirão	Teles Pires	39.000	75-97	842,67	21,61	25.000	540,17
6	18420000	Faz. Itaguaçu	Ronuro	4.005	77-98	90,15	22,51	4.005	90,15
<b>Bacia 1</b>				<b>191.048</b>		<b>4.490,72</b>	<b>24,49</b>	<b>117.470</b>	<b>2.876,27</b>
7	23300000	Carolina	Tocantins	276.520	62-2000	3995,08	14,45	276.520	3.995,08
8	26350000	São Félix do Araguaia	Araguaia	193.923	74-99	2695,99	13,90	193.923	2.695,99
<b>Bacia 2</b>				<b>470.443</b>		<b>6.691,07</b>	<b>14,22</b>	<b>470.443</b>	<b>6.691,07</b>
9	33480000	Colinas	Itapecuru	14.850	68-2000	57,32	3,86	14.850	57,32
10	34311000	Barão de Grajaú	Parnaíba	140.240	83-2000	518,37	3,70	122.000	450,95
11	34770000	Prata do Piauí	Poti	42.200	64-2000	94,97	2,25	30.500	68,64
12	34980000	Tinguis	Longa	24.100	65-2000	149,01	6,18	15.500	95,84
<b>Bacia 3</b>				<b>221.390</b>		<b>819,67</b>	<b>3,68</b>	<b>182.850</b>	<b>672,75</b>
13	44290002	Pedras de Maria da Cruz	São Francisco	191.063	86-99	1827,60	9,57	191.063	1.827,60
14	45260000	Juvenília	Carinhanha	15.600	86-99	140,40	9,00	14.000	126,00
15	45910001	Santa Maria da Vitória	Corrente	29.640	86-99	209,40	7,06	26.000	183,68
16	46550000	Barreiras	Grande	18.560	86-99	89,00	4,80	18.560	89,00
<b>Bacia 4</b>				<b>254.863</b>		<b>2.266,40</b>	<b>8,92</b>	<b>249.623</b>	<b>2.226,28</b>
17	53630000	Inhobim	Pardo	16.040	63-97	21,80	1,36	15.000	20,39
18	54710000	Jequitinhonha	Jequitinhonha	53.298	39-96	353,15	6,63	41.000	271,66
<b>Bacia 5</b>				<b>69.338</b>		<b>374,95</b>	<b>5,22</b>	<b>56.000</b>	<b>292,05</b>
19	60030000	Campo Alegre de Goiás	São Marcos	9.627	84-93	150,58	15,64	9.627	150,58
20	60545000	Pires do Rio	Corumbá	21.248	71-96	347,05	16,33	21.248	347,05
21	60680000	Ponte Meia Ponte	Meia Ponte	11.527	52-98	144,24	12,51	11.527	144,24
22	60772000	Faz. Santa Maria	Dos Bois	16.752	75-98	198,99	11,88	16.752	198,99
23	60798000	Maurilândia	Verde	12.826	74-95	234,56	18,29	12.826	234,56
24	60845000	Ituiutaba	Tijuco	6.154	42-95	94,12	15,29	6.154	94,12
25	60950000	Canastra	Corrente	6.882	72-98	108,32	15,74	6.882	108,32
26	61145000	Macaia	Grande	15.395	68-98	306,85	19,93	15.395	306,85
27	63003100	Porto Galeano	Sucuriú	19.260	84-98	336,88	17,49	19.260	336,88
28	63390000	Estrada Queiroz	Verde	20.180	83-98	222,26	11,01	20.180	222,26
29	63979000	Porto Uerê	Pardo	33.280	84-99	383,80	11,53	30.100	347,13
30	66070004	Caceres	Paraguai	32.774	65-95	541,05	16,51	17.000	280,64
31	66280000	Barão de Melgaço	Cuiabá	27.050	66-95	454,73	16,81	27.050	454,73
32	66460000	Acima do córrego Grande	São Lourenço	21.800	69-95	350,01	16,06	21.800	350,01
33	66870000	Coxim	Taquari	27.040	66-95	327,79	12,12	27.040	327,79
34	66945000	Aquidauana	Aquidauana	15.200	68-95	113,98	7,50	15.200	113,98
<b>Bacia 6</b>				<b>296.995</b>		<b>4.315,21</b>	<b>14,45</b>	<b>278.041</b>	<b>4.018,13</b>
<b>Cerrado</b>				<b>1.504.077</b>		<b>18.958,02</b>	<b>12,39</b>	<b>1.354.427</b>	<b>16.776,55</b>

Tomando-se por base a média da produção hídrica específica de cada estação (Tabela 1), observa-se que, na mesma bacia, em geral, estes valores são pouco variáveis. Entretanto, entre bacias, esta variação é bastante significativa, indicando que este parâmetro pode ser utilizado para indicar regiões com maior potencial para ocorrência de escassez de água, o que depende, também, da demanda local por recursos hídricos. A área de Cerrado presente na bacia Amazônica (bacia 1), por exemplo, registrou uma vazão específica média de 24,49 L/s.km<sup>2</sup>, enquanto as bacias Atlântico Norte/Nordeste (bacia 3) e Atlântico Leste (bacia 5), apresentaram valores bem menores, 3,68 e 5,22 L/s.km<sup>2</sup>, respectivamente.

A Tabela 2 contém a produção hídrica do Cerrado nas áreas desprovidas de monitoramento fluviométrico,

calculada segundo procedimento descrito anteriormente.

Conforme indicado anteriormente, as vazões geradas nas zonas não-monitoradas foram obtidas, a partir das vazões específicas médias de cada bacia e suas respectivas áreas. Considerando que o percentual de contribuição das áreas de Cerrado, com e sem monitoramento, para cada bacia, varia, o mesmo vai ocorrer com a vazão específica média. Neste estudo, foi encontrado, para área monitorada, o valor de 12,39 L/s.km<sup>2</sup> e, para a não-monitorada, de 13,78 L/s.km<sup>2</sup>.

A Tabela 3 apresenta o resumo dos resultados obtidos nesta análise, demonstrando a produção hídrica superficial do Cerrado e sua importância para seis das oito grandes bacias hidrográficas do país.

**Tabela 2.** Estimativa da vazão gerada na região de Cerrado sem cobertura das estações fluviométricas utilizadas.

Nº	Bacia	Área sob Cerrado (km <sup>2</sup> )	Monitorada*			Não-monitorada		
			Área (km <sup>2</sup> )	%	Qesp. (L/s.km <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	%	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	Amazônica	210.000	117.470	56	24,49	95.530	44	2.266
2	Araguaia/Tocantins	590.000	470.443	80	14,22	119.557	20	1.700
3	Atlântico Norte/Nordeste	280.000	182.850	65	3,68	97.150	35	357
4	São Francisco	300.000	249.623	83	8,92	50.377	27	449
5	Atlântico Leste	60.000	56.000	93	5,22	4.000	7	21
6	Paraná/Paraguai	600.000	278.041	46	14,45	321.959	54	4.653
<b>Cerrado</b>		<b>2.040.000</b>	<b>1.354.427</b>	<b>66</b>	<b>12,39</b>	<b>685.573</b>	<b>34</b>	<b>9.446</b>

**Tabela 3.** Produção hídrica do Cerrado por bacia hidrográfica.

Nº	Bacia	Área total**		Q total**		A Cerrado		Q Cerrado		Q esp (L/s.km <sup>2</sup> )
		(km <sup>2</sup> )	%	(m <sup>3</sup> /s)	%	(km <sup>2</sup> )	%	(m <sup>3</sup> /s)	%	
1	Amazônica*	3.900.000	46	133.380	73	210.000	5	5.142	4	24,49
2	Araguaia/Tocantins	757.000	9	11.800	6	590.000	78	8.391	71	14,22
3	Atlântico Norte/Nordeste	1.029.000	12	9.050	5	280.000	27	1.030	11	3,68
4	São Francisco	634.000	7	2.850	2	300.000	47	2.675	94	8,92
5	Atlântico Leste	545.000	6	4.350	3	60.000	11	313	7	5,22
6	Paraná/Paraguai*	1.245.000	15	12.290	7	600.000	48	8.671	71	14,45
7	Uruguai*	178.000	2	4.150	2	-	-	-	-	-
8	Atlântico Sul/Sudeste	224.000	3	4.300	2	-	-	-	-	-
<b>Brasil</b>		<b>8.512.000</b>	<b>100</b>	<b>182.170</b>	<b>100</b>	<b>2.040.000</b>	<b>24</b>	<b>26.222</b>	<b>14</b>	<b>12,85</b>

\* Produção hídrica em território brasileiro.

\*\* SIH/ANEEL, 1999

Para melhor interpretação dos dados apresentados na Tabela 3, há na primeira linha, dados referentes à bacia 1, ou seja, à bacia Amazônica, que abrange 3,9 milhões de km<sup>2</sup> em território brasileiro, 46% da área do Brasil. A produção hídrica desta bacia é, em média, de 209.000m<sup>3</sup>/s (DNAEE, 1994), entretanto, no território brasileiro, ela é igual a 133.380m<sup>3</sup>/s. O complemento de sua vazão média provém dos países que estão a montante na bacia. A vazão gerada na fração brasileira da bacia Amazônica corresponde a 73% da produção hídrica nacional.

O item “A Cerrado” indica a área da bacia sob o bioma Cerrado, enquanto o “Q Cerrado” e o “Q esp.” representam, respectivamente, a parte da vazão gerada e a vazão específica média obtidas nesta área.

Depreende-se da Tabela 3 que o Cerrado, mesmo englobando 24% do território nacional, contribui com apenas 14% da produção hídrica superficial brasileira. Entretanto, excluindo-se a bacia Amazônica da análise, verifica-se que o Cerrado passa a representar 40% da área e 43% da produção hídrica total do restante do país.

Conforme apresentado na Tabela 3, a vazão específica média das áreas sob o bioma Cerrado é de 12,85 L/s.km<sup>2</sup>. Porém, dada a grande variabilidade deste valor entre as diferentes bacias hidrográficas, fica evidente a impossibilidade de uso de um único coeficiente desta natureza para toda a região de Cerrado. Em termos médios, esses valores apresentaram uma variação de 3,68 L/s.km<sup>2</sup> na bacia Atlântico Norte/Nordeste a 24,49 L/s.km<sup>2</sup> na bacia Amazônica.

Como a área de Cerrado na bacia Amazônica é pouco representativa, se

excluída do cálculo da vazão específica média deste bioma, obtém-se o valor de 11,52 L/s.km<sup>2</sup>, redução esta, considerada pequena em relação à disparidade entre os dados desta bacia e das demais.

Se para a bacia Amazônica a influência territorial e hidrológica do Cerrado é pouco representativa, com apenas 5% da área e 4% da sua produção hídrica, por outro lado, para as bacias Araguaia/Tocantins, São Francisco e Paraná/Paraguai, este bioma mostrou-se responsável por mais de 70% da vazão gerada. Deve-se salientar que a concentração populacional e a demanda por recursos hídricos são muito maiores nestas bacias que na Amazônica.

Na bacia Araguaia/Tocantins, o Cerrado representa 78% da área e 71% da sua produção hídrica, mesmo sendo parte desta bacia influenciada pela floresta Amazônica. A contribuição hidrológica da área de Cerrado é significativa, o que pode ser comprovado pela sua vazão específica de 14,22 L/s.km<sup>2</sup>.

Na bacia Atlântico Norte/Nordeste, a contribuição da área sob Cerrado apresentou-se baixa, menor que a média da bacia, pois engloba 27% da área e produz apenas 11% da vazão.

A bacia do São Francisco é totalmente dependente, hidrologicamente, do Cerrado que, com apenas 47% da área, gera 94% da água que flui superficialmente na bacia. Merece destaque sua importância para o abastecimento hídrico da Região Nordeste, bem como para a produção de alimentos sob irrigação e a geração de energia hidrelétrica, fundamentais para o desenvolvimento regional e nacional.

Na bacia Atlântico Leste, a influência exercida pelo bioma Cerrado é muito

pequena, tendo em vista sua pequena representatividade em relação à área total da bacia e a baixa vazão específica apresentada.

Conforme supracitado, a bacia Paraná/Paraguai é outra que recebe importante contribuição hidrológica do Cerrado que, compreendendo 48% de sua área total, gera 71% da vazão média desta bacia.

É importante destacar que, apesar de toda a área analisada pertencer a um mesmo bioma, a disparidade entre as vazões específicas obtidas nas diferentes bacias hidrográficas demonstra que o parâmetro “cobertura vegetal”, em termos globais, não teve tanta influência na estimativa da produção hídrica. Sendo assim, não é recomendável utilizar um único valor médio de vazão específica para toda a área de Cerrado.

Cabe ressaltar que, por serem dados médios, obtidos por meio de estimativas e aproximações, em escala regional, sem considerar o fator sazonal em sua análise e, por isso, as informações apresentadas não devem ser utilizadas para fins de gestão de recursos hídricos em escala local. Entretanto, elas podem ser importantes para a identificação de áreas prioritárias para estudos e ações, com vistas a evitar ou remediar conflitos pelo uso da água. Um exemplo claro e que ilustra a aplicação destas informações é a importância demonstrada da contribuição hídrica superficial do Cerrado para o Nordeste do Brasil e como este bioma deve receber especial atenção, em função do que representa para aquela região.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica evidente neste trabalho a grande importância que a região de Cerrado possui em relação à produção hídrica no território brasileiro, contribuindo para seis das oito grandes bacias hidrográficas do país.

Apesar de esta região ocupar 24% do território nacional e representar apenas 14% da sua produção hídrica superficial, observa-se, que excluindo-se a bacia Amazônica da análise, região de grande produção hídrica e onde vive pequena parcela da população do país, um aumento substancial nestes valores, que passam para 40% e 43%, respectivamente, estando, portanto, próximos à média do restante do Brasil.

Merece destaque a participação do Cerrado na geração de vazão para a bacia do rio São Francisco, fundamental para o desenvolvimento da Região Nordeste, tão carente em recursos hídricos.

Diante do exposto e sendo a área de Cerrado uma região com cabeceiras de bacias hidrográficas, locais, geralmente, com pequena capacidade de suporte, é fundamental a ampliação dos conhecimentos referentes ao seu comportamento hidrológico. Isso, porque, além dos prejuízos locais que o mau uso destes recursos pode provocar, estes efeitos podem ser propagados por extensões maiores, uma vez que ocorrem nas áreas de montante das bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Adámoli, J.; J. Macedo; L. G. Azevedo; J. S. Madeira Neto, 1986. Caracterização da região dos cerrados. In: Goedert, W.J. (Ed.) *Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel. p.33-74.
- Assad, E.D. (ed.) 1994. *Chuva nos cerrados. Análise e espacialização*. Embrapa/SPI. Brasília. 423p.
- Beekman, G.B. 1999. *Gerenciamento integrado dos recursos hídricos*. Brasília: IICA. 64p.
- CODEPLAN & IBGE. 2000. Projeção da população da Região Centro Oeste e Tocantins. In: *Correio Brasiliense* de 28 de janeiro, Caderno Cidade.
- Dolabella, R.H.C. 1996. *Caracterização agroambiental e avaliação da demanda e da disponibilidade de recursos hídricos para a agricultura irrigada na bacia hidrográfica do rio Jardim – DF*. Dissertação de mestrado. Brasília: UnB/FT/EAG. 109p.
- DNAEE. 1994. *Mapa de disponibilidade hídrica da Bacia Amazônica do Brasil*. Brasília.
- Embrapa Cerrados. 2002. *II Plano Diretor Embrapa Cerrados 2000-2003*. Planaltina: Embrapa Cerrados. 32p.
- Lima, J. E. F. W.; R. S. A. Ferreira; D. Christofidis, 1999. O uso da irrigação no Brasil. In: Freitas, M.A.V.(org.), *O Estado das águas no Brasil – 1999: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos*. Brasília, DF: ANEEL: SRH/MMA. p.73-82.
- Lima, J.E.F.W. 2000. *Determinação e simulação da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica do Cerrado*. Dissertação de Mestrado. Brasília: FAV/UnB. 75 p.
- Rebouças, A.C.; B. Braga; J. G. Tundisi, 1999. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras ed. 717p.
- Salati, E.; H. M. Lemos; E. Salati 1999. Água e o desenvolvimento sustentável. In: Rebouças, A.C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. 1999. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras ed. p.39-62.
- SIH/ANEEL. 1999. Informações hidrológicas brasileiras. Brasília: ANEEL. In: Setti, A.A.; J. E. F. W. Lima; A. G. M. Chaves; I. C. Pereira, 2000. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília: ANEEL: ANA. 328p.

# Capítulo 3

Influência da história,  
solo e fogo na  
distribuição e  
dinâmica das  
fitofisionomias no  
bioma do Cerrado

**Raimundo Paulo Barros Henriques**  
Departamento de Ecologia  
Universidade de Brasília  
Brasília, DF.

FOTO: ALDICIR SCARIOTE





---

## INTRODUÇÃO

O bioma do Cerrado é provavelmente a maior savana do mundo, ocupando aproximadamente 2.000.000 km<sup>2</sup> no Brasil central, mais áreas disjuntas nos outros biomas adjacentes. Uma das principais questões sobre o bioma do Cerrado é a determinação dos fatores responsáveis pela sua distribuição e a dinâmica das suas fitofisionomias.

Frost *et al.* (1986) indicou quatro fatores, principais responsáveis pelos padrões e processos das comunidades de savanas: água, nutrientes, fogo e herbivoria. Para as savanas da região Neotropical, foram incluídos juntamente com os três primeiros fatores o clima e eventos históricos (Sarmiento &

Monastério, 1975). A herbivoria tem pouca importância nas savanas da região Neotropical, devido à pequena biomassa de ungulados.

Este capítulo, propõe que a ocorrência e a dinâmica dos diferentes tipos de fitofisionomias no bioma do Cerrado resultam principalmente da influência de três fatores: história, solo e fogo. Um modo de abordar esta questão é observar quais os padrões e processos que ocorrem nas fitofisionomias que podem e não podem ser explicados usando estes fatores.

A seguir as idéias que serão examinadas ao longo deste trabalho:

- (i) A ocorrência de áreas disjuntas com vegetação de cerrado *sensu lato* nos biomas adjacentes pode ser atribuída a uma maior distribuição geográfica da sua área contínua no Brasil central, no passado. Nesse caso, as atuais áreas disjuntas seriam remanescentes desta distribuição original. Com a mudança do clima para mais úmido, as áreas com cerrados ficaram isoladas em outros biomas;
- (ii) Parte das diferenças observadas entre as fitofisionomias no cerrado *sensu lato* pode ser explicada pela profundidade e umidade do solo. Normalmente, a densidade e a altura da vegetação lenhosa aumentam proporcionalmente a esses fatores;
- (iii) O terceiro fator importante é o fogo, que tem ampla ocorrência no bioma do Cerrado, provocando uma série de modificações na estrutura da vegetação.

A influência do fogo na dinâmica das fitofisionomias do Cerrado é um processo complexo ainda pouco conhecido. Após uma perturbação pelo fogo pode ocorrer uma fase de imigração de espécies, com crescimento no número de indivíduos e de área basal, sendo seguida de uma fase de homeostase, com equilíbrio nas taxas de imigração e extinção, recrutamento e mortalidade, respectivamente (Hallé *et al.*, 1978). Altas taxas de imigração de espécies, de recrutamento de indivíduos e incremento de biomassa sugerem que algumas áreas com fisionomia de cerrado *sensu stricto* e provavelmente, campo sujo, são comunidades fora do equilíbrio, estando atualmente em uma fase inicial de

crescimento sucessional (Henriques & Hay, 2002). O tempo para uma comunidade em fase inicial de crescimento atingir a fase de equilíbrio (homeostática) na ausência do fogo vai depender de outros fatores ecológicos como: disponibilidade de água e nutrientes no solo e distância da fonte de propágulos.

Foram propostos por Pivello & Coutinho (1996) e Meirelles *et al.* (1997) modelos que, sugerem a evolução sucessional das fisionomias abertas para as fisionomias fechadas do cerrado *sensu lato*, em função de vários fatores ambientais. Nesses modelos, as formações abertas (campo limpo, campo sujo, etc.) são consideradas formas derivadas do cerradão e florestas estacionais, pela ação do homem (ex. fogo, pastoreio), para onde a vegetação invariavelmente converge na ausência de perturbações humanas.

Portanto, o conhecimento da história do solo e do fogo é fundamental para se conhecer a distribuição e a dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. Este capítulo sintetiza o conhecimento atual sobre a influência desses fatores, na sua distribuição e propõe um modelo para explicar a dinâmica das fisionomias do cerrado *sensu lato*, em função do fogo e dos fatores edáficos.

## TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES BÁSICAS

O bioma do Cerrado se distribui como área contínua no Brasil central e como áreas disjuntas em outros biomas (Figura 1), como na floresta Amazônica, Caatinga, floresta Atlântica, Pantanal e floresta de Pinheiro do sul do Brasil (Rizzini, 1979; Cole, 1986; Furley

& Ratter, 1988; Prance, 1996). O conceito de bioma empregado aqui, refere-se ao conjunto das unidades fisionômico-estrutural da vegetação que ocorrem na região do Cerrado, além das áreas disjuntas em outros biomas. Este conceito é semelhante ao usado por Oliveira-Filho & Ratter (2002), mas para uma conceituação diferente, veja Coutinho (2000). A vegetação predominante do bioma do Cerrado é formada por um mosaico heterogêneo de fisionomias vegetais, com as formações campestres em uma extremidade e as formações florestais em outra extremidade, formando um gradiente de altura-densidade (Eiten, 1972; 1982).

Embora existam diferenças entre os autores, usando a altura e a densidade de plantas lenhosas, podemos ordenar as fisionomias vegetais em quatro tipos principais (conhecidas como cerrado *sensu lato*): campo limpo; campo sujo;

cerrado *sensu stricto*, cerradão (Figura 2). Este gradiente forma um *continuum* vegetacional, não havendo limites definidos entre uma fisionomia e outra, portanto, formas intermediárias podem ocorrer entre elas. Apenas por conveniência, foram reconhecidos alguns tipos predominantes de fitofisionomias e que serão usados ao longo desse trabalho. Em função das características estruturais, foram reconhecidos quatro tipos fisionômicos do cerrado *sensu lato*: campo limpo é a fisionomia com a mais alta cobertura de gramínea; campo sujo apresenta uma alta cobertura de gramíneas e uma baixa cobertura de arbustos; o cerrado *sensu stricto* apresenta uma menor cobertura de gramíneas, e uma maior cobertura arbustivo-arbórea e o cerradão é uma formação florestal que apresenta ausência de cobertura de gramíneas e a maior cobertura arbórea. No gradiente de cerrado *sensu lato*, o cerradão apresenta algumas espécies de arbustos

**Figura 1**  
Distribuição geográfica do bioma do Cerrado no Brasil. As áreas disjuntas nos outros biomas adjacentes são indicadas.



e árvores restritas a esta fisionomia, como a árvore *Emmotun nitens* (Furley & Ratter, 1988), sendo aqui usada como indicadora da fisionomia de cerrado. Essa classificação dos tipos fisionômicos é aplicável, principalmente, para a região do Brasil central

O campo limpo, incluído neste gradiente, é a fisionomia que ocorre sobre solos Litossólicos, rasos ( $\sim 30$  cm de profundidade) (Eiten, 1978, 1979, 1984) não se refere, portanto, ao campo úmido ao lado das matas de galeria (Goldsmith, 1974). Estes campos possuem uma flora distinta com baixa afinidade florística com a flora herbácea do cerrado *sensu lato* (Araújo *et al.*, 2002).

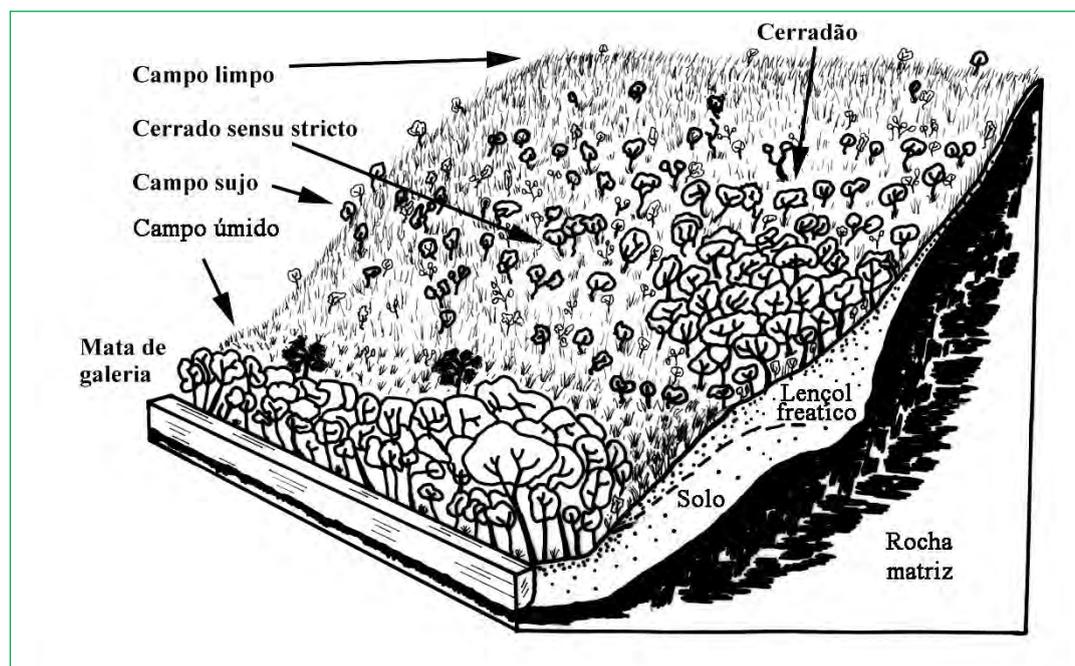
A floresta estacional pode ocorrer em diferentes partes do gradiente fisionômico de vegetação de cerrado *sensu lato*. Esta fisionomia apresenta estreita afinidade florística com o cerrado (Rizzini 1963; 1979; Ratter *et al.*, 1971; 1973, 1977; 1978a; 1978b; Heringer *et al.*, 1977; Oliveira-Filho & Ratter, 1995). A floresta estacional pode ocorrer, no topo dos interflúvios sobre

solos Latossolos férteis, derivados de rochas alcalinas ou nas vertentes inferiores aluviais sobre solos Podzólicos, derivados de rocha calcária, ao lado da mata de galeria (Ratter *et al.*, 1978a; 1978b; Eiten 1978; 1984).

Existem outras formações vegetais no bioma do Cerrado, com estruturas e fisionomias similares às do gradiente fisionômico do cerrado *sensu lato*, mas diferenciam-se pela composição florística e determinantes edáficos (ex. campos rupestres, campos úmidos, mata de galeria; Eiten, 1982) e que não serão tratadas neste capítulo.

## A ORIGEM DA VEGETAÇÃO DISJUNTA DO CERRADO SENSU LATO

A ocorrência de áreas isoladas com vegetação de cerrado *sensu lato*, em outros biomas como, a floresta Amazônica, Caatinga, floresta Atlântica e floresta de Pinheiro no sul do Brasil (Figura 1), levou vários autores a proporem, que no passado houve uma distribuição mais ampla, da área



**Figura 2**  
Diagrama de bloco da distribuição das fisionomias de cerrado *sensu lato* em relação à profundidade do solo na vertente de um vale.

contínua do bioma do Cerrado no Brasil central, (Hueck, 1957; Ab'Saber, 1963; 1971; Rizzini, 1979; Cole, 1986; Filho, 1993; Prance, 1996). Segundo esses autores, a distribuição mais extensa do bioma do Cerrado, seria decorrente de um clima mais seco que teria favorecido a distribuição da sua vegetação no passado.

A hipótese de uma distribuição pleistocênica para as áreas disjuntas dos cerrados é baseada em dois tipos de evidências (Gottsberg & Morawetz, 1986; Prance, 1996): (1) A similaridade florística entre as áreas disjuntas dos cerrados com a flora da sua área contínua de ocorrência no Brasil central, e (2) o baixo nível de endemismo de espécies nas áreas disjuntas da Amazônia e da floresta Atlântica. O teste desta hipótese requer o registro de polens no Quaternário que indiquem a ocorrência da flora do cerrado *sensu lato*, nas áreas intermediárias entre a região contínua do bioma do Cerrado do Brasil central e as áreas disjuntas nos outros biomas. Vários estudos detectaram a ocorrência de polens de *Curatella americana* e de outras espécies do cerrado *sensu lato*, em áreas atualmente com floresta de Pinheiro e floresta Atlântica no sudeste e sul do Brasil (Ledru *et al.*, 1996; 1998; Behling, 1998; Behling & Hooghiemstra, 2001). Estes resultados indicam que a vegetação do bioma do Cerrado do Brasil central se expandiu além do seu limite atual leste, sudeste e sul. As áreas disjuntas de cerrado *sensu lato* atualmente isoladas na floresta Atlântica e floresta de Pinheiro, na região Sul e Sudeste, são remanescentes desta distribuição mais extensa no passado (Hueck, 1957; Behling, 1998). A expansão das florestas úmidas, em direção à área central do bioma do Cerrado, pode ter ocorrido aproximadamente nos últimos 1.000 anos A. P.

no sudeste e sul do Brasil (Behling & Hooghiemstra, 2001), o que indica um isolamento recente destas áreas.

A hipótese da distribuição do bioma do Cerrado, na área da floresta Amazônica durante os períodos mais secos do final do Pleistoceno e Holoceno, para explicar as ocorrências das áreas disjuntas de cerrado *sensu lato* neste bioma ainda é controversa (Colinvaux, 1979; 1997; Colinvaux *et al.*, 1996). As evidências baseadas na presença de polens, indicadores da ocorrência de vegetação de cerrado *sensu lato*, demonstram que para as áreas atualmente com florestas úmidas no limite sudoeste e sul da Amazônia, esta vegetação esteve presente em vários períodos no final do Pleistoceno (65.000 A.P., 49.000 A. P., 41.000 A. P., 23.000 A. P., 13.000 A. P.) (Behling & Hooghiemstra, 2001; van de Hammem & Hooghiemstra, 2000).

## DETERMINANTES EDÁFICOS DAS FISIONOMIAS DO CERRADO SENSU LATO

O gradiente fisionômico de vegetação no cerrado *sensu lato* apresenta uma variação inversa do componente lenhoso (densidade, altura) e do componente herbáceo, dominado por gramíneas (Goodland, 1971; Goodland & Ferri, 1979). Esta variação fisionômica - estrutural da vegetação foi correlacionada com a fertilidade do solo (Goodland & Pollard, 1973, Lopes & Cox, 1977), ocorrendo a maior densidade e altura de plantas lenhosas onde o solo apresentava maior fertilidade. No entanto, vários estudos encontraram resultados que não corroboram a existência desta correlação (Gibbs *et al.*, 1983; Oliveira Filho *et al.*, 1989; Moreira, 2000; Ribeiro *et al.*, 1982;

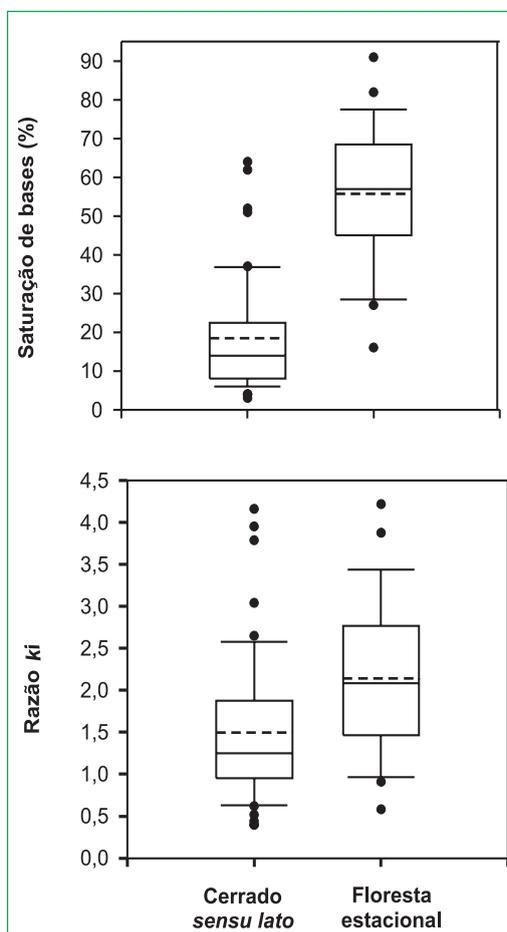
Ruggiero *et al.*, 2002). Diferenças de escala e de metodologia podem explicar, em parte, os resultados conflitantes encontrados por esses autores.

Relativamente, espera-se maior fertilidade onde a vegetação é mais alta e densa, como no cerradão e floresta estacional, devido à maior contribuição da matéria orgânica para o solo nestas fisionomias. Devido à maior capacidade da matéria orgânica reter nutrientes, os solos das fisionomias com maior cobertura vegetal (cerrado, cerradão) tornam-se mais férteis do que aqueles com menor cobertura (campo limpo, campo sujo). Isto não indica que originalmente as áreas com formações de maior cobertura possuíssem solos mais férteis.

Diferenças na fertilidade do solo entre fisionomias foram registradas para dois subtipos de cerradão (Furley & Ratter, 1988), os distróficos, de baixa fertilidade e os mesotróficos, de maior fertilidade, principalmente na concentração de cálcio. Estas características nutricionais estavam associadas também a diferenças florísticas, com as espécies do primeiro subtipo classificadas como calcífugas e as do segundo como calcífilas. No entanto, a grande similaridade florística dos cerradões mesotróficos com as florestas estacionais (Ratter *et al.*, 1978; Oliveira Filho & Ratter, 1995), pode indicar que ambos pertençam ao mesmo tipo de unidade florístico-fisionômica.

A floresta estacional ocorre em solos com maior fertilidade (Ratter *et al.*, 1978a), associada a afloramentos de rochas básicas. A distribuição deste tipo de fisionomia independente do gradiente vegetacional do cerrado *sensu lato* é consistente com a sua associação aos substratos ricos em rochas básicas. Isto pode ser verificado na comparação das

diferenças de duas características edáficas de 47 amostras de solos, para a região *core* dos cerrados em Goiás (Krejci *et al.*, 1982). Observa-se que, as florestas estacionais ocorrem em solos com maior concentração de nutrientes do que as fisionomias de cerrado *sensu lato* (Figura 3). A saturação média de bases em solos de floresta estacional foi maior ( $55,6 \pm 8,7$ ) do que em solos dos cerrados ( $18,4 \pm 14,7$ ). Outra diferença observada foi na razão *ki*, o valor médio para os solos do cerrado *sensu lato* foi menor ( $1,5 \pm 0,8$ ) do que para os solos da floresta estacional ( $2,1 \pm 0,9$ ) (Figura 3). A razão *ki* (razão molecular do  $\text{SiO}_2$  para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) mede o grau de latossolização e indica a maturidade do solo. Quanto maior o grau de latossolização mais jovem é o solo e maior o valor de *ki*. Independentemente da rocha matriz do solo, baixos valores de *ki* estão associados com baixos



**Figura 3** Distribuição dos valores de saturação de bases (%) e razão *ki* (razão molecular de  $\text{SiO}_2$  para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , veja texto), nas áreas com cerrado *sensu lato* e florestas estacionais no Brasil central. A caixa para 95% dos valores, indica a média (linha contínua) a mediana (linha pontilhada) e o desvio padrão.

conteúdos de nutrientes. Com base no levantamento de solos do Estado de São Paulo, foi proposto por Eiten (1972), que o cerrado *sensu lato* ocorria apenas em solos que apresentassem um valor de *ki* inferior a 1,8 e que, onde o solo apresentasse baixo conteúdo de nutrientes (ex. Latossolo Vermelho - Amarelo textura arenosa e Regossolo), apenas *cerrado sensu lato* era observado.

A Figura 3 mostra que para a região do Brasil central, embora, exista sobreposição nos valores de *ki* entre o cerrado *sensu lato* e a floresta estacional, o valor máximo de *ki* foi de 1,9 para 95% dos valores, o qual foi inferior ao valor para as florestas estacionais (2,8). O valor máximo para o cerrado *sensu lato* observado no Brasil central, foi próximo ao valor de 1,8 registrado para o cerrado *sensu lato* para o Estado de São Paulo (Eiten 1972).

Todos estes resultados sugerem fortemente que as fisionomias de cerrado *sensu lato* diferentemente da floresta estacional, estão associadas a solos de grande maturidade, e altamente intemperizados, como indicado pelos baixos valores de *ki*, o que resultou em solos com baixo conteúdo de nutrientes e, na maioria dos casos, também com alta saturação de alumínio. Como sugerido por Eiten (1972), parece que o conteúdo de nutrientes, expresso pela soma de bases, e o valor de *ki* são os melhores fatores edáficos para separar o cerrado *sensu lato* da floresta estacional.

O primeiro modelo explicativo das diferenças fisionômicas para a vegetação primária do bioma do Cerrado foi realizado por Eiten (1972). Neste modelo, são indicados três fatores para explicar esta diferenciação: profundidade, drenagem e fertilidade do

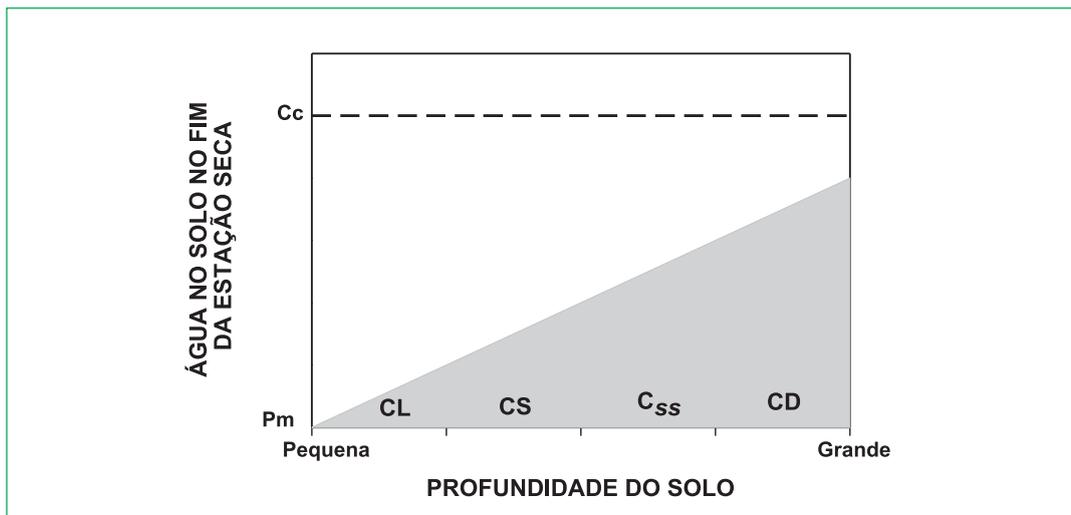
solo. Pelo exposto anteriormente, fica evidente que a fertilidade não explica as diferenças entre as fisionomias do cerrado *sensu lato*. As evidências para a influência da profundidade do solo na variação das fisionomias do cerrado *sensu lato* são baseadas nos resultados de Eiten, (1972, 1978, 1979, 1982, 1984, 1994) e Oliveira Filho *et al.* (1989). Devido ao baixo conteúdo de nutrientes, os aumentos da densidade e da altura da vegetação da fisionomia de cerradão são limitados pela profundidade do solo. Apenas em uma profundidade maior, o solo possuiu um estoque de nutriente suficiente para o desenvolvimento de uma maior biomassa da vegetação. Paralelamente, resultados de Franco (2002) e Kanegae *et al.* (2000) mostram que o conteúdo de água na superfície do solo (até 30cm) das fisionomias abertas para as fechadas no final da seca aumenta.

Baseado nos estudos acima e nas observações do autor no Distrito Federal, uma distribuição hipotética dos tipos fisionômicos de vegetação do cerrado *sensu lato* é apresentada, em função da profundidade e do conteúdo de água do solo, no fim da estação seca (Figura 4). As fisionomias são colocadas na sua posição relativa aos dois fatores ambientais e representam o potencial máximo de desenvolvimento da vegetação para as referidas condições ambientais. A figura mostra também que, a fisionomia que apresenta o mínimo impedimento edáfico para o desenvolvimento de espécies arbóreas é o cerradão. Neste caso, além disso, as condições para o estabelecimento e desenvolvimento de uma vegetação arbórea (cerradão) nas fisionomias abertas (ex. campo limpo e campo sujo), podem ser limitadas pelo conteúdo de água na estação seca e pelo menor estoque de nutrientes.

## IDÉIAS PIONEIRAS SOBRE O PAPEL DO FOGO NO BIOMA DO CERRADO

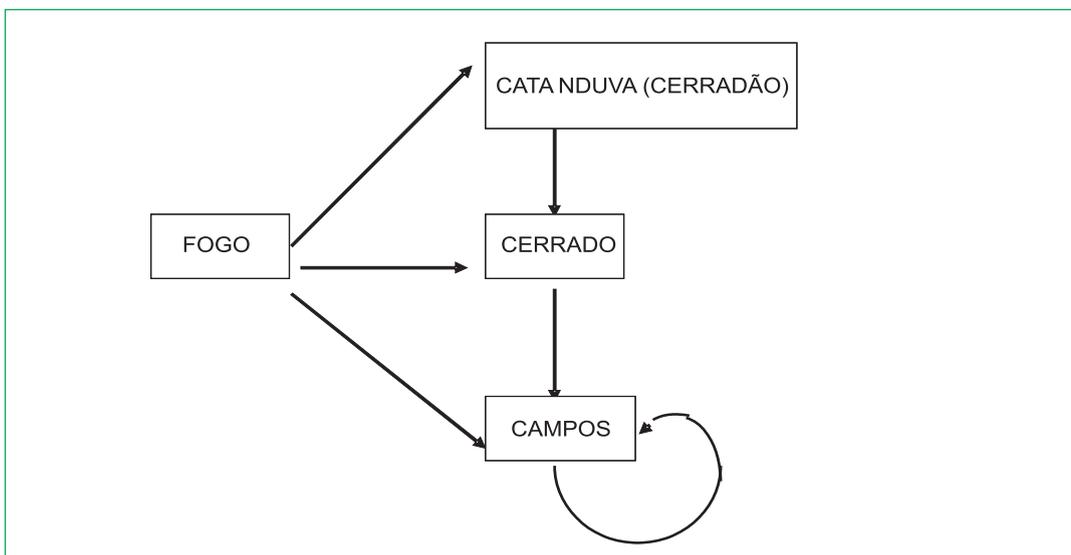
A primeira hipótese para a origem das fisionomias abertas do cerrado *sensu lato* (campo limpo, campo sujo e cerrado *sensu stricto*) devido à influência do fogo tem início na primeira metade do século 19, com o trabalho de P. W. Lund “Anotações sobre a vegetação nos planaltos do interior do Brasil, especialmente fito-históricas” (Lund, 1835). Lund era um botânico sistemata, familiarizado com a flora e a fisionomia de várias áreas geográficas, particularmente São Paulo, Minas Gerais e Goiás, que conheceu em uma viagem de

dois anos de duração (1833– 1835). Como resultado das suas observações, Lund sugeriu que o cerradão (Catanduva, como era chamado em São Paulo e Minas Gerais no século 19) era a vegetação florestal primária na região do bioma do Cerrado do planalto central e que, pela ação do fogo foi transformado em muitas áreas, nas fisionomias abertas de campos e de cerrado *sensu stricto* (Figura 5). Realizando observações independentes em Minas Gerais e Goiás, Saint-Hilaire (1827; 1831) chegou às mesmas conclusões. Posteriormente, outras observações, realizadas em São Paulo por Loefgren (1898; 1906; 1912), foram consistentes com a hipótese de Lund. Uma série de evidências



**Figura 4**

Ocorrência potencial das fisionomias de cerrado *sensu lato* em função da profundidade e do conteúdo de água na superfície do solo no fim da estação seca. Cc – capacidade de campo; Pm – ponto de murchamento; CL – campo limpo; CS – campo sujo; C<sub>SS</sub> – cerrado *sensu stricto*; CD – cerradão.



**Figura 5**

Representação da hipótese de Lund (1835) do efeito do fogo na evolução da vegetação no bioma dos cerrados. O fogo transforma o cerradão em cerrado, que pela continuidade do fogo é substituído pelo campo, que pode ser mantido pelo fogo periódico.

observacionais, realizadas depois destes estudos, sugerem que, em muitas áreas, o cerrado se originou pela ação do fogo no cerradão (Ab'Saber & Junior, 1951; Aubreville, 1959; Schnell, 1961; Eiten, 1972, Rizzini, 1963, 1979).

### ECONOMIA DE ÁGUA E O CARÁTER SECUNDÁRIO DAS FISIONOMIAS ABERTAS DO CERRADO *SENSU LATO*

A hipótese de Lund de que, pela ação do fogo, o cerradão pode dar lugar às fisionomias abertas do bioma do Cerrado (campo limpo, campo sujo, cerrado *sensu lato*) foi aceita parcialmente por Warming (1892), que não achava possível que este processo tivesse ocorrido em tão grande extensão geográfica. A ocorrência de fisionomias abertas do cerrado *sensu lato* era atribuída à limitação por água. Warming, que considerava o cerrado uma vegetação adaptada à deficiência de água (xerofítica) (*sensu* Schimper 1903), supunha que as fisionomias abertas do cerrado *sensu lato*, ocorriam devido ao período seco e à precipitação menor que as das áreas de florestas (ex. floresta Atlântica). Esta hipótese foi refutada a partir dos resultados obtidos em uma série de estudos por Felix Rawitscher e colaboradores (Ferri, 1944; Rachid, 1947; Rawitscher *et al.*, 1943; Rawitscher, 1948; 1950, 1951). Os principais resultados destes estudos mostraram: (1) que as espécies mostravam de pequena a nenhuma adaptação fisiológica para a seca; (2) que a maioria das plantas lenhosas possuía sistemas radiculares profundos tendo acesso às camadas de solo com água; e (3) que o solo com fisionomia de cerrado *sensu stricto* apresentava água disponível para a vegetação o ano todo. Baseado nestas

evidências, Rawitscher *et al.* (1943, 1948), refutam a hipótese de Warming (1892), de que a limitação por água era a causa da ausência das florestas em áreas ocupadas com fisionomias abertas do cerrado *sensu lato*, demonstrando também, que o conteúdo de água no solo poderia manter formações florestas. Rawitscher (1948) propõe que, em Emas, São Paulo, o cerrado *sensu stricto*, poderia ser uma vegetação secundária resultante da ação do fogo em uma fisionomia florestal primária. Concluindo, considera que o solo no cerrado *sensu lato*, tem condições de manter formações florestais, talvez do tipo cerradão, e que as fisionomias abertas poderiam ser formações secundárias resultantes da ação do fogo (Rawitscher, 1950; 1951).

### IMPACTO DO FOGO NA VEGETAÇÃO DO CERRADO *SENSU LATO*

O fogo é um drástico agente de perturbação na vegetação do bioma do Cerrado com grande impacto na dinâmica das populações das plantas. O fogo causa a diminuição da altura da vegetação (Hoffmann & Moreira, 2002) e, uma mortalidade de plantas lenhosas variando de 13 a 16%, dez vezes maior em relação às áreas protegidas, incluindo árvores de 21cm de diâmetro e 8,5m de altura (Sato & Miranda, 1996). O fogo também tem um grande efeito na composição de espécies do cerradão, eliminando espécies características desta fisionomia e sensíveis ao fogo como, *Emmotum nitens*, *Ocotea pomaderroides* e *Alibertia edulis* (Hoffmann & Moreira, 2002).

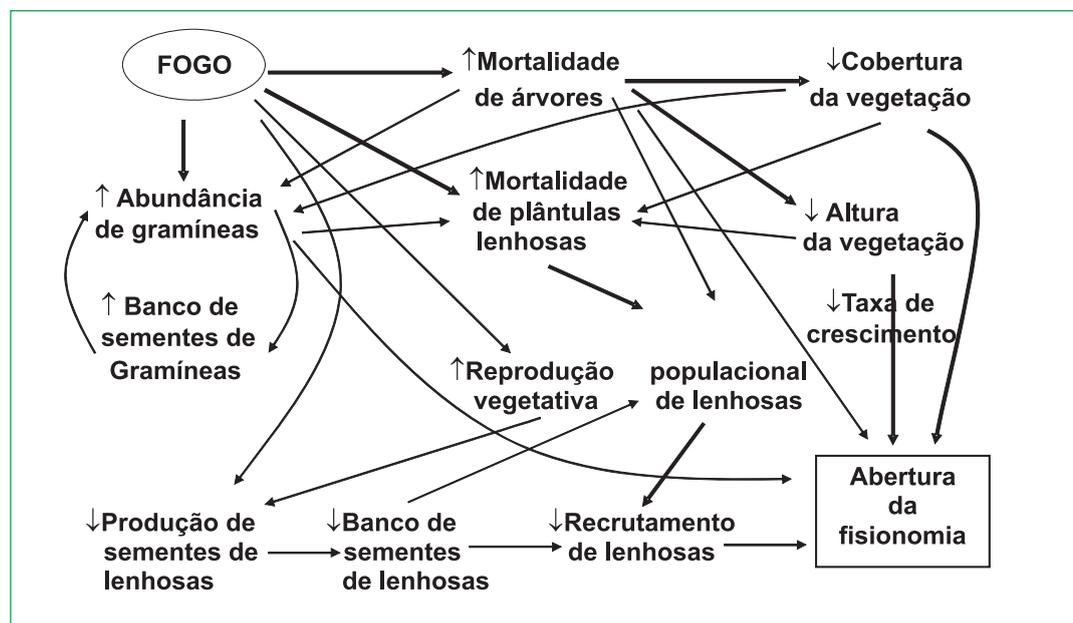
A mortalidade das plântulas pelo fogo é ainda maior (33% a 100%), o

mesmo ocorrendo com as rebrotas de crescimento vegetativo (7% a 47%) (Hoffmann, 1996; 1999). Em áreas com até um ano depois de queimadas, o estabelecimento das plantas é também drasticamente reduzido (Hoffmann, 1996). Esse efeito é maior nas espécies características de cerrado, como *Alibertia macrophyla*, *Pera glabrata* e *Ocotea pomaderroides*.

Com maior frequência de queimadas, as taxas anuais de crescimento populacional, favorecem as formas de crescimento menores (arbustos) em detrimento das maiores (árvores) (Hoffmann, 1999; Hoffmann & Moreira, 2002). O fogo também aumenta a importância da reprodução vegetativa, em relação à da reprodução sexuada (Hoffmann, 1998; 1999). Isto ocorre pela estimulação, pelo fogo, da reprodução vegetativa e do seu maior valor de sobrevivência em relação à das plântulas. Além disso, algumas espécies de plantas lenhosas reduzem drasticamente a produção de sementes ao nível populacional nas áreas recentemente queimadas (Hoffmann, 1998). Isto se reflete na redução do banco de sementes destas espécies nas áreas queimadas, em

relação ao das áreas protegidas (Andrade, 2002). Nas áreas queimadas também ocorre um aumento da abundância das gramíneas e do seu banco de sementes (Miranda, 2002; Andrade, 2002). A maior abundância de gramíneas pode diminuir drasticamente a sobrevivência de plântulas de espécies lenhosas (Heringer, 1971).

Baseado nos resultados obtidos nesses estudos até o momento, a Figura 6 mostra um modelo geral descrevendo os efeitos do fogo na dinâmica da vegetação do cerrado *sensu lato*. Este modelo mostra as complexas relações entre os principais processos internos, modificando a vegetação. Algumas características deste modelo devem ser ressaltadas. Os processos mostrados na Figura 6 podem ocorrer em qualquer vegetação submetida ao efeito do fogo, mas alguns processos são mais importantes na vegetação dos cerrados, como exemplo, a reprodução vegetativa e o rápido aumento da abundância de gramíneas. A maior espessura das setas representa a sua importância relativa aos outros processos e também a importância da dependência entre os processos. A magnitude do efeito dos



**Figura 6**  
Esquema dos efeitos do fogo nos processos que determinam a fisionomia aberta na vegetação dos cerrados. As setas mais grossas indicam os principais processos.

processos na vegetação está na dependência da frequência com que ocorre o fogo (Hoffmann, 1996; 1998; 1999). Além disso, os fatores externos não foram considerados neste modelo, como o efeito da variação de precipitação, a ocorrência de veranicos, herbivoria, geadas, ou fertilidade do solo, os quais podem mudar a importância relativa dos diferentes processos. Todos os processos apresentados na Figura 6 enfatizam o grande impacto causado pelo fogo na modificação das fisionomias dos cerrados, de fisionomia fechada para aberta, principalmente no que se refere à modificação de fisionomias com maior densidade/altura de lenhosas e baixa abundância de gramíneas (ex. cerradão) para uma fisionomia com baixa altura/densidade de lenhosas e alta cobertura de gramíneas (ex. cerrado *sensu stricto*, campo limpo, campo sujo).

Através de simulações de modelos populacionais, foi estimado que com uma frequência de queima maior que quatro ou cinco anos, as populações de algumas espécies de árvores não podem se manter no cerrado *sensu lato* (Hoffmann, 1998; 1999). Nas condições típicas de queimadas nos cerrados, de uma vez a cada dois anos (Eiten, 1972), as fisionomias mais fechadas dos cerrados (ex. cerradão), podem estar sendo substituídas por fisionomias mais abertas (ex. campo limpo, campo sujo, cerrado *sensu stricto*), com drásticas modificações na composição de espécies. Nestas fisionomias abertas, são favorecidas as plantas não sensíveis ao fogo, que se reproduzem vegetativamente. As alterações na composição de espécies que acompanham esta substituição podem estar diminuindo drasticamente a diversidade das comunidades vegetais do cerrado *sensu*

*lato*, como observado por Moreira (2000).

## O CARÁTER SUCESSIONAL DAS FISIONOMIAS ABERTAS DOS CERRADOS

Coutinho (1982, 1990) realizou uma série de observações que mostraram que as fisionomias abertas dos cerrados, aumentavam de altura e densidade, com a proteção contra o fogo. No cerrado *sensu lato*, a proteção contra o fogo resulta em um progressivo aumento da vegetação lenhosa (Henriques & Hay, 2002; Hoffmann & Moreira, 2002). Portanto, onde as fisionomias abertas do cerrado (campo limpo, campo sujo, cerrado *sensu stricto*) não são determinadas por limitação edáfica (Figura 4), mas resultantes da ação do fogo em fisionomias mais fechadas, a sua proteção contra o fogo deve permitir a evolução sucessional em direção à fisionomia primária mais fechada.

Em um gradiente fisionômico iniciando em campo sujo e indo até o cerradão, no Brasil central, Moreira (2000) mostrou que, depois de 18 anos de proteção contra o fogo, as áreas protegidas apresentavam aumento significativo no número de plantas lenhosas e na riqueza de espécies, em relação às áreas não protegidas. Algumas espécies arbóreas do cerradão, como *Blepharocalix salicifolius* e *Sclerolobium paniculatum*, apresentaram maior abundância no cerradão protegido do fogo do que no queimado enquanto espécies características como *Emmotum nitens* e *Ocotea pomaderroides* (Furley & Ratter 1988), apenas foram encontradas no cerradão protegido do fogo.

Estudando a dinâmica das populações de plantas lenhosas de um

cerrado protegido do fogo, Henriques & Hay (2002) encontraram fortes evidências que suportam a hipótese de que o cerrado *sensu stricto* pode ser uma comunidade fora do equilíbrio, tendo uma natureza sucessional. Considerando a extensa ocorrência e a alta frequência das queimadas no bioma do Cerrado é possível que esta hipótese possa ser aplicada para uma grande área, ocupada atualmente com as fisionomias abertas do cerrado *sensu lato*. Esta hipótese é corroborada pelos resultados de Hoffmann (1999), que mostram que a diminuição da frequência de fogo, pode permitir o crescimento líquido positivo de populações de árvores, aumentando a densidade e cobertura de lenhosas.

Se a vegetação do cerrado *sensu lato*, protegido do fogo, incrementa em densidade e riqueza de espécies, quais seriam as trajetórias sucessionais para as fisionomias dos cerrados? Em uma análise de agrupamento de fisionomias queimadas e protegidas do fogo, Moreira (2000) encontrou maior similaridade florística entre as áreas protegidas de campo sujo e cerrado *sensu stricto* queimado, e cerrado *sensu stricto* protegido com cerradão queimado. Estes resultados sugerem uma seqüência sucessional do tipo campo sujo – cerrado – cerradão.

Usando fotografias aéreas, Durigan *et al.*, (1987) analisaram o comportamento das fisionomias do cerrado *sensu lato* após 22 anos de proteção contra o fogo em Assis, São Paulo. Seus resultados mostraram que a densidade e a altura da vegetação das fisionomias abertas evoluíram para uma fisionomia florestal mais densa, de porte mais alto após a proteção contra o fogo. A presença na fisionomia mais madura de *Platypodium elegans* e *Machaerium acutifolium*, espécies características da

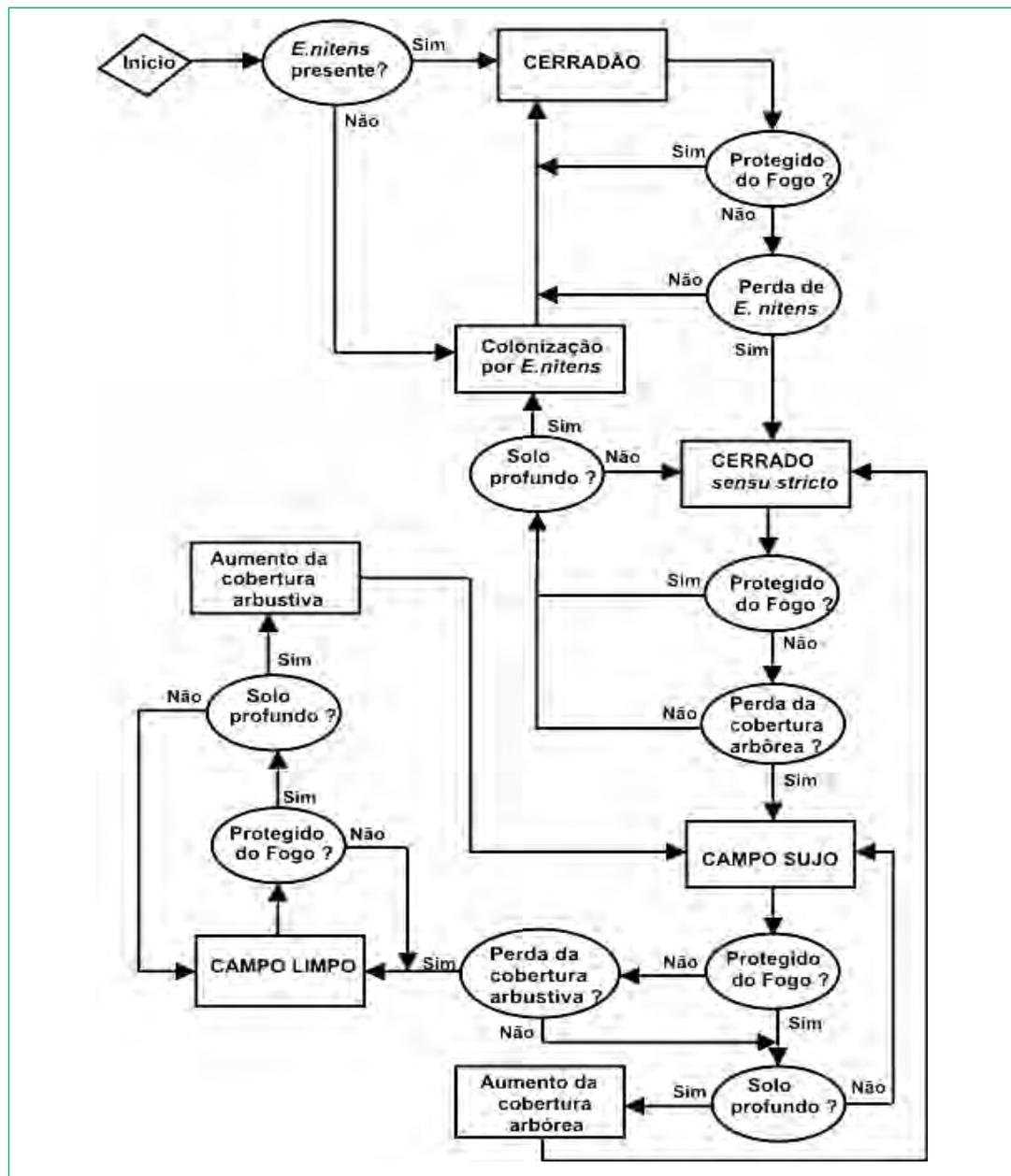
floresta estacional seca (Pennington *et al.*, 2000; Ratter *et al.*, 1978a,1978b), sugerem que esta fisionomia pode ter sido a vegetação primária nesta área. Do mesmo modo um penúltimo estágio que foi identificado na área, apresenta as espécies: *Bowdichia virgilioides* e *Caryocar brasiliense*, características do cerradão (Heringer *et al.*, 1977; Ratter, 1971, 1991). Esses resultados sugerem que, as áreas inicialmente com fisionomias abertas no estágio de campo sujo, foram substituídas por cerrado *sensu stricto*, as áreas com cerrado *sensu stricto* por cerradão e as com cerradão por floresta estacional, quando a área foi protegida do fogo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do que foi apresentado anteriormente, podemos observar que na ausência ou baixa frequência do fogo, os diferentes tipos de vegetação no gradiente fisionômico podem ser resultantes de condições edáficas. E que cada um dos diferentes tipos fisionômicos é o estágio mais maduro que a vegetação pode alcançar em cada posição no gradiente edáfico. Nesse sentido, em termos sucessionais, no cerrado existem vários estágios finais de sucessão para a mesma condição climática. Esta idéia é consistente com o conceito de clímax-gradiente de Whittaker (1953), onde ocorre uma continuidade espacial dos diferentes tipos de comunidades clímax (gradiente fisionômico), variando paralelamente com o gradiente ambiental, e não necessariamente diferentes comunidades clímax discretas separadas, como no conceito de policlímax. Eiten (1972) também considerou o bioma Cerrado dentro do conceito clímax-gradiente de Whittaker.

Assim cada um dos tipos fisi-nômicos é considerado aqui como um tipo de clímax. Na ocorrência do fogo, todos os tipos fisionômicos sofrem um processo de regressão para uma fisionomia (estágio) mais aberta, com desenvolvimento do estrato inferior dominado por gramíneas e diminuição do componente lenhoso arbustivo - arbóreo (Figura 6). Com uma alta frequência de queima, espécies arbóreas sensíveis ao fogo não conseguem manter uma taxa positiva de crescimento populacional, particularmente as espécies arbóreas do cerradão (Figura 6).

Com a proteção contra o fogo pode se iniciar o processo de sucessão da vegetação. Um modelo conceitual resumindo as seqüências de estágios sucessionais hipotéticos é apresentado na Figura 7. Segundo este modelo, as fisionomias abertas dos cerrados (campo limpo, campo sujo e cerrado *sensu stricto*), ocorrendo em solos, profundos e estando protegidas do fogo, podem apresentar o estabelecimento e crescimento das populações de arbustos e árvores (Henriques & Hay, 2002; Hoffmann & Moreira, 2002). Este incremento na densidade é acom-



**Figura 7**  
Modelo conceitual de sucessão e regressão das fisionomias dos cerrados, em função da profundidade do solo e do fogo no Brasil central.

panhado de aumento da cobertura e altura da vegetação. Se não houver impedimento edáfico (Figura 4), a vegetação poderá evoluir até uma fisionomia arbórea como o cerrado.

Considerando que a região do bioma do Cerrado pode estar apresentando uma frequência de fogo acima do regime normal, devido à ação antrópica, é provável que as fisionomias abertas, em particular a de cerrado *sensu stricto* em áreas sem impedimento edáfico, estejam em diferentes estágios sucessionais após o fogo, em uma fisionomia com vegetação mais desenvolvida.

Esta hipótese tem várias implicações para estudos ecológicos de vegetação, principalmente em estudos fitossociológicos comparativos entre áreas com cerrado *sensu stricto*. Considerando que estas áreas podem ter diferentes histórias do fogo, e se acharem em diferentes estágios sucessionais, os resultados de

análises de similaridade florística entre elas, podem apresentar nenhuma congruência espacial, por exemplo, com áreas próximas geograficamente apresentando menor similaridade florística do que áreas mais afastadas, por se encontrarem em diferentes estágios sucessionais após o fogo.

Este capítulo apresenta a existência de correspondência entre atributos e processos da vegetação em relação a três fatores fundamentais: história, solo e fogo. Esses três fatores são considerados os agentes que determinam a forma e a ocorrência das fitofisionomias do cerrado *sensu lato* e floresta estacional. No entanto, embora ajudem precisamente a entender os resultados disponíveis no momento, servindo para estabelecer futuras prioridades de pesquisa, são necessárias mais informações de modo a aceitar ou rejeitar as hipóteses aqui apresentadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. 1963. Contribuição a geomorfologia dos cerrados. In Ferri, M. G. (Ed) *Simpósio sobre o cerrado*. p. 117-124. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- \_\_\_\_\_. 1971. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. In Ferri, M. G. (Coord) *III Simpósio do cerrado*. , 3. p. 1-14. Editora Edgard Blücher & Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- \_\_\_\_\_. & M. C. Júnior, 1951. *Contribuição ao estudo do sudoeste goiano*. B. Geogr. 9: 123-138.
- Andrade, L. A. Z. 2002. *Impacto do fogo no banco de sementes de cerrado sensu stricto*. Dissertação de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Araújo, G. M. de, A. A. A. Barbosa, A. A. Arantes, & A. F. Amaral, 2002. Composição florística de vereda no município de Uberlândia, MG. *Rev. Bras. Bot.* 4: 475-493.
- Aubréville, A. 1959. As florestas do Brasil: estudo fitogeográfico e florestal. *Anu. Bras. Econ. Flor.* 11: 201-232.
- Behling, I. 1998. Late Quaternary vegetation and climatic changes in Brazil. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 99: 143-156.
- \_\_\_\_\_. & H. Hooghiemstra, 2001. Neotropical savanna environments in space and time: Late Quaternary interhemispheric comparison. In Markgraf, V. (Ed) *Interhemispheric climate linkages*. p. 307-323. Academic Press, New York.
- Cole, M. M. 1986. *The savannas. Biogeography and geobotany*. Academic Press, Harcourt Brace Javanovich Publishers, Publishers. London, UK.

- Colinvaux, P. A. 1979. The ice-age Amazon. *Nature* 278: 399-400.
- \_\_\_\_\_. 1997. The ice-age Amazon and the problem of diversity. In NWO/Huygenslezing 1997. p. 7-30. The Hague: Netherlands Organization for Scientific Research.
- \_\_\_\_\_. P. E. de, Oliveira, J. E. Moreno, M. C. Miller, & M. B. Bush, 1996. A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science* 274: 85-87.
- Coutinho, L. M. 1982. Ecological Effects of fire in Brazilian cerrado. In Huntley, B. J. & B. H. Walker, (eds) *Ecology of tropical savannas*. p. 273-291. Springer-Verlag, Berlin.
- \_\_\_\_\_. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In Goldammer, J. G. (Ed) *Fire in the tropical biota*. p. 82-105. Springer Verlag, Berlin.
- \_\_\_\_\_. 2002. O bioma do cerrado. In Klein, A. L. (Org.) *Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois*. p. 77-91. Editora da UNESP, São Paulo.
- Durigan, G.; I. R. Saraiva; L. M. A. G. Garrido; M. A. O. Garrido & A. P. Filho, 1987. Fitossociologia e evolução da densidade da vegetação do cerrado. *Assis. SP. Bol. Tec. Inst. Flor.* 41: 59-78.
- Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Bot. Rev.* 38: 201 – 341.
- \_\_\_\_\_, 1978. Delimitation of the cerrado concept. *Vegetatio* 36: 169-178.
- \_\_\_\_\_. 1979. Formas fisionômicas do cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 2: 139-148.
- \_\_\_\_\_. 1982. Brazilian “savannas”. In Huntley, B. J. & Walker, B. H. (Eds) *Ecology of tropical savannas*. P. 24 – 47. Springer Verlag, Berlin.
- \_\_\_\_\_. 1984. Vegetation of Brazilia. *Phytoecologia* 12: 271-292.
- \_\_\_\_\_. 1994. Vegetação do cerrado. In Pinto, M. N. (Ed) *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. EDUNB e SEMATEC, Brasília, DF.
- Ferri, M. G. 1944. Transpiração de plantas permanentes dos cerrados. *Bol. Fac. Fil. Cien. Letr. Univ. São Paulo, Botânica*, 4:159-224. 1993.
- Filho, A. 1993. Cerrados amazônicos: fósseis vivos? Algumas reflexões. *Rev. Inst. Geol.* 14: 63-68.
- Franco, A. C. 2002. Ecophysiology of woody plants. In Oliveira, P. S. & Marquis, R. S. *Ecology and Natural History of a Neotropical savanna: The cerrados of Brazil*. P. 178-197. The University of Columbia Press.
- Frost, P., E. Medina, J. C. Menaut, Solbrig, O., Swift, M. & Walker, B. 1986. Responses of savannas to stress and disturbance. *IUBS Special Issue* no. 10:1-82.
- Furley, P. A. & J. A. Ratter, 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. *J. Biogeog.* 15: 96-108.
- Gibbs, P. E.; H. F. Leitão Filho; & G. Shepherd, 1983. Floristic composition and community structure in an area of cerrado in SE Brazil. *Flora* 173: 433-449.
- Goldsmith, F. B. 1974. Multivariate analysis of tropical grassland communities in Mato Grosso, Brazil. *J. Biogeog.* 1: 111-122.
- Goodland, R. 1971. A physiognomic analysis of the ‘cerrado’ vegetation of central Brasil. *J. Ecol.* 59: 411-419.
- \_\_\_\_\_. & M. G. Ferri, 1979. *Ecologia do cerrado*. EDUSP/Livraria Itatiaia Editora LTDA., São Paulo.
- \_\_\_\_\_. & R. Pollard, 1973. The Brazilian cerrado vegetation: A fertility gradient. *J. Ecol.* 6: 219-224.
- Gottsberger, G. & W. Morawetz, (1986). Floristic, structural and Phytogeographical analysis of the savannas of Humaitá (Amazonas). *Flora* 178: 41-71.
- Hallé, F., R. A. A. Oldeman, & P. B. Tomlinson, 1978. *Tropical trees and forests*. Springer Verlag, Berlin.
- Henriques, R. P. B. & J. D. Hay, 2002. Patterns and dynamics of plant populations. In Oliveira, P. S. & R. S. Marquis, *Ecology and Natural History of a Neotropical savanna: The cerrados of Brazil*. p. 140-178. The University of Columbia Press.
- Heringer, P. E. 1971. Propagação e sucessão de espécies arbóreas do cerrado em

- função do fogo, do cupim, da capina e do aldrim (inseticida). In Ferri, M. G. (Coord) *III Simpósio do cerrado*. P. 167-174. Editora Edigard Bücher & Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Heringer, E. P., G. M., Barroso, J. A Rizzo & C. T. Rizzini, 1977. A flora do Cerrado. In Ferri, M. G. (Coord) *Simpósio sobre o cerrado base para a utilização agropecuária*. p. 211-232. Editora da Universidade de São Paulo & Editora Itatiaia, São Paulo.
- Hoffmann, W. A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. *J. Ecol.* 84: 383-393.
- \_\_\_\_\_. 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. *J. Ecol.* 35: 422-433.
- \_\_\_\_\_. 1999. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology* 80: 1354-1369.
- \_\_\_\_\_ & A. Moreira, 2002. The role of fire in population dynamics of woody plants. In Oliveira, P. S. & R. S. Marquis. *Ecology and Natural History of a Neotropical savanna: The cerrados of Brazil*. p. 159-177. The University of Columbia Press.
- Hooghiemstra, H. 1997. *Tropical rain forest versus savanna: two sides of a precious medal*. NWO/Huygenslezing 1997. p. 31-43. The Hague: Netherlands Organization for Scientific Research.
- Hueck, K. 1957. Sobre a origem dos campos cerrados do Brasil e algumas novas observações no seu limite meridional. *Rev. Brasil. Geog.* 19: 67-81.
- Kanegae, M. F.; Braz, V. S. & Franco, A. C. 2000. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. *Rev. Brasil. Bot.* 23: 457-466.
- Krejci, L. C., Fortunato, F. F. & Corrêa, P. R. S. 1982. Pedologia. Levantamento exploratório de solos. In Brasil. Ministério de Minas e Energia. *Projeto RADAMBRASIL*. Folha SD.23 Brasília, Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais, 29).
- Ledru, M.P.; P. I. S. Braga; F. Soubiès; M. Fournier; L. Martin; K. Suguio & B. Turcq, 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 123: 239-257.
- \_\_\_\_\_. *Salgado-Labouriau, M. L. & M. L. Lorscheitter, 1998. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. Rev. Palaeobot. Palynt.* 99: 131-142.
- Löefgren, A. 1898. Ensaio para uma distribuição dos vegetais nos diversos grupos florísticos no Estado de São Paulo. *Bol. Com. Geog. Geol.* 11: 1-50.
- \_\_\_\_\_. 1906. La flore de St. Paul. *Rev. Centr. Sci. Let. Art. Campinas* 5: 53-61.
- \_\_\_\_\_. 1912. Ensaio preliminar para uma phytogeographia brasileira. *Rev. Centr. Sci. Let. Art. Campinas* 11: 27-47.
- Lopes, A. S. & F. R. Cox, 1977. Cerrado vegetation in Brazil: An edaphic gradient. *Agron. J.* 69: 828-831.
- Lund, P. W. 1835. Bemaerkninger over vegetation paa de indre hogstletter of Brasilien, isaer i plantehistorisk henseende *Kgl. Danske Videnskab. Selsk. Skrifter* 6: 145-188.
- Meirelles, M. L., C. A. Klink, & J. C. S. Silva, 1997. Um modelo de estado y transiciones para el cerrado brasileño. *Ecotropicos* 10: 45-50.
- Miranda, M. I. 2002. *Efeitos de diferentes regimes de queimadas sobre a comunidade de gramíneas do cerrado*. Dissertação de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Moreira, A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *J. Biog.* 27: 1021-1029.
- Oliveira Filho, A. T. & J. A. Ratter, 1995. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species

- distribution patterns. *Edinb. J. Bot.* 52: 141-194.
- \_\_\_\_\_ & Ratter, J. A. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In Oliveira, P. S. & Marquis, R. S. *Ecology and Natural History of a Neotropical savanna: The cerrados of Brazil*. p. 91-120. The University of Columbia Press.
- \_\_\_\_\_; Sheperd, G. J.; F. R. Martins & W. H. Stubblebine, 1989. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in central Brazil. *J. Trop. Ecol.* 5: 413-431.
- Pennington, R. T.; D. E. Prado & C. A. Pendry, 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *J. Biog.* 27: 261-273.
- Prance, G. T. 1996. Island in Amazonia. *Philos. Trans. Roy. Soc. B* 351: 823-833.
- Pivello, V. R. & L. M. Coutinho, 1996. A quantitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *For. Ecol. Manag.* 87: 127-138.
- Rachid, M. 1944. Transpiração e sistema subterrâneos da vegetação de verão dos campos cerrados de Emas. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr. Univ. São Paulo, Botânica* 5: 1-135.
- Ratter, J. A. 1971. Some notes on two types of cerradão occurring in north eastern Mato Grosso. In Ferri, M. G. (Coord) *III Simpósio do cerrado*. p. 100-102. Editora Edigard Bücher & Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- \_\_\_\_\_. 1991. Transitions between cerrado and forest vegetation in Brasil. In Furley, P. A.; J. Proctor & J. A. Ratter, (Eds) *Nature and Dynamics of forest-savanna boundaries*. p. 417-429. Chapman & Hall, London.
- \_\_\_\_\_; G. P. Askew; R. F. Montgomery & D. R. Gifford, 1977. Observações adicionais sobre o cerradão de solos mesotróficos no Brasil central. In Ferri, M. G. (Coord) *IV Simpósio sobre o cerrado*. p. 303-316. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- \_\_\_\_\_. & J. F. Ribeiro, 1996. Biodiversity of the flora of the cerrado. In Pereira, R. C. & Nasser, L. C. B. (Eds.) *Anais do VIII Simpósio sobre o cerrado*. p. 3-5. EMBRAPA, Planaltina.
- \_\_\_\_\_; Richards, P. W., Argent, G. & Gifford, D. R. 1973. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso I. The woody vegetation types of the Xavantina-Cachimbo Expedition area. *Philos. Trans. Roy. Soc. B* 266: 449-492.
- \_\_\_\_\_; Askew, G. P.; Montgomery, R. F. & Gifford, D. R. 1978a. Observations on forests of some mesotrophic soils in central Brazil. *Rev. bras. Bot.* 1: 47-58.
- Ratter, J. A.; Askew, G. P.; Montgomery, R. F. & Gifford, D. R. 1978b. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso II. Forests and Soils of the Rio Suiá-Missu area. *Proc. Roy. Soc. B* 203: 191-208.
- \_\_\_\_\_; Bridgewater, S.; Atkinson, R. & Ribeiro, J. F. 1996. Analysis of floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation II: Comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Einburg Journal of Botany* 53: 153-180.
- \_\_\_\_\_; Ribeiro, J. F. & Bridgewater, S. 1996. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Ann. Bot.* 80: 223-230.
- Rawitscher, F. 1948. The water economy of the vegetation of the campos cerrados' in southern Brazil. *J. Ecol.* 36: 16-32.
- \_\_\_\_\_. 1950. O problema das savanas brasileiras e das savanas em geral. *Anu. Bras. Econ. Flor.* 3: 32-38.
- \_\_\_\_\_. 1951. Novos ensinamentos da ecologia tropical. *Cienc. Cult.* 3: 232-242.
- \_\_\_\_\_; Ferri, M. G. & Rachid, M. 1943. Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil meridional. *An. Acad. Bras. Ci* 15: 267-294.
- Ribeiro, J. F.; Silva, J. C. & Azevedo, L. G. 1982. Estrutura e composição florística em tipos fisionômicos dos cerrados e sua relação com alguns parâmetros do solo. In *Anais do XXXII Congr. Nac. Bot. P. 141-156. Sociedade Botânica do Brasil, Terezina*.
- Rizzini, C. T. 1963. A flora do cerrado. In Ferri, M. G. (Ed) *Simpósio sobre o*

- cerrado. p. 127-177. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- \_\_\_\_\_. 1979. *Tratado de Fitogeografia do Brasil*. Aspectos florísticos. Editora Hucitec & Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Ruggiero, P. G. C., M. A. Batalha, V. R. Pivello & S. T. Meirelles 2002. Soil – vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, southeastern Brazil. *Plant Ecol.* 160: 1-16.
- Saint-Hilaire, A. 1827. *Voyage aux sources du Rio de S. Francisco et dans la province de Goyaz*. Berlin Imprimeur-Librairie, Paris.
- \_\_\_\_\_. 1831. Tableau de la végétation primitive dans la province de Minas Gerais. *Ann. Sci. Nat.* 24: 64-83.
- Sarmiento, G. & M. Monastério, 1975. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical america. In Golley, F. B. & Medina, E. (Eds) *Tropical ecological systems: trends in terrestrial and aquatic research*. p. 223-250. Springer-Verlag, New York.
- Sato, M. N. & H. S. Miranda, 1996. Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado *sensu stricto* submetidas a diferentes regimes de queima. In Miranda, H. S., C. H. Saito, & B. F. S. de Souza Dias, (Eds) *Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga*. p. 102-111. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Schimper, A. F. W. 1903. *Plant-geography upon a physiological basis*. Caredon Press, Oxford.
- Schnell, R. 1961. Le problème des homologues phytogéographiques entre l’Afrique et l’Amérique tropicales. *Mem. Mus. Hist. Nat.* 11: 137-241.
- Van der Hammen, T. & H. Hooghiemstra, 2000. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. *Quat. Res.* 19: 725-742.
- Warming, E. 1892. *Lagoa Santa. Et. Beitrag til den biologiske plantegeografi*. D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr. 6, Raekke VI. (Trad. Do dinamarqués por A. Loefgren, 2a ed., São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo e Editora Itatiaia, 1973).
- Whittaker, R. H. 1953. A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern. *Ecol. Monog.* 23: 41-78.

# Capítulo 4

FOTO: ALDIER SCARIOT

## Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado

**Helôisa Sinátora Miranda**  
**Margarete Naomi Sato**  
Departamento de Ecologia  
Universidade de Brasília  
Brasília, DF





## INTRODUÇÃO

As formas fisionômicas mais comuns do Cerrado caracterizam-se por possuir um estrato rasteiro bastante desenvolvido, constituído principalmente por gramíneas, e um estrato lenhoso não muito denso, onde as copas das árvores não formam um dossel contínuo (Ribeiro & Walter, 1998). A vegetação apresenta fenologia marcadamente sazonal, havendo grande produção de biomassa durante a estação chuvosa (outubro a maio). Na estação seca, as gramíneas, em sua maioria, estão inativas e a maior parte de sua biomassa aérea seca morre favorecendo a ocorrência de incêndios (Klink & Solbrig, 1996). O registro mais antigo de fogo na região do Cerrado data de 32000 A.P. (Ferraz-Vicentini, 1993), provavelmente sendo de origem natural. Registros mais recentes, 13700 A.P. e 8600 A.P., são apresentados por Oliveira (1992) e Coutinho (1981), podendo ser de origem natural ou antrópica (Salgado-Labouriau & Ferraz-Vicentini, 1994). Estudos recentes realizados por Ramos Neto & Pivello (2000), no Parque Nacional de Emas (GO), mostram que incêndios de Cerrado iniciados por raios

ocorrem de setembro a maio, no final da estação seca e durante a estação chuvosa. As queimadas destinadas ao preparo da terra para o plantio de grãos ou ao manejo de pastagens naturais ou plantadas são, geralmente, realizadas durante a estação seca (Coutinho, 1990). Embora, a vegetação lenhosa do Cerrado apresente características adaptativas ao fogo (Eiten, 1994; Coutinho, 1990), as queimadas durante a época seca podem resultar em mudanças mais significativas na estrutura e composição florística da vegetação do que as queimadas provocadas na época chuvosa. Apresentamos neste capítulo uma revisão dos dados disponíveis na literatura sobre os efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. Nesta discussão, a expressão queimada está restrita àquelas prescritas e os termos fogo ou incêndio se referem às queimadas não prescritas ou de origem desconhecida.

Diferentes tipos de danos na vegetação lenhosa têm sido relatados, principalmente nos padrões reprodutivos, no recrutamento e estabelecimento de novos indivíduos e taxas de mortalidade. Estes serão os efeitos do fogo abordados neste capítulo.

## FLORAÇÃO

Uma intensa floração após a passagem do fogo tem sido amplamente relatada para a vegetação do estrato rasteiro do Cerrado (Freitas, 1998; Haddad & Válio, 1993; César, 1980; Coutinho, 1976). Todavia, poucos são os estudos sobre a resposta imediata da vegetação lenhosa. Miranda (1995) em estudo da fenologia de um cerrado *sensu stricto*, em Alter-do-Chão (PA), registrou que imediatamente após um incêndio não houve alteração significativa na floração do estrato arbóreo. Um mês antes da ocorrência do fogo havia oito espécies em floração, e cinco espécies um mês após a queima. Para *Byrsonima crassifolia* houve uma pequena redução do número de indivíduos em floração após a queima e *Himatanthus falax* floresceu mais intensamente, com cerca de 26% dos indivíduos apresentando flores. Todavia, cerca de 60% dos indivíduos com flor apresentavam mais de 5m de altura, sendo portanto, bem maiores que a altura média das chamas (Frost & Robertson, 1987) e altos, o suficiente, para não permanecerem, por um período muito longo, expostos à coluna de ar quente. Para queimada de campo sujo, Freitas (1998) registrou a floração de *Erythroxylum suberosum*, *Stryphnodendron adstringens*, *Byrsonima coccolobifolia*, *Byrsonima verbascifolia* e *Palicourea rigida* entre 14 e 94 dias após queimadas experimentais.

Efeitos do fogo na produção de flores no período seguinte à ocorrência de incêndios ou queimadas têm sido relatados com maior frequência. O fogo parece não alterar a produção de flores de *Kielmeyera coriacea*, *Roupala montana* e *Stryphnodendron adstringens*. Landim & Hay (1996) observaram que, um ano após a ocorrência do fogo, não há diferença significativa na produção

de botões florais e flores de *K. coriacea* entre uma área protegida de queima e outra queimada no final da estação seca. Felfili *et al.* (1999) em estudo de longa duração sobre fenologia de *S. adstringens*, não observaram diferença significativa para a produção de flores, um ano após um incêndio em área de cerrado *sensu stricto*. Ao comparar resultados obtidos em uma área de cerrado *sensu stricto* protegida de queima por mais de sete anos e áreas queimadas há um, dois e três anos, Hoffmann (1998) mostra que o período após queima não resultou em diferenças significativas na produção de flores de *R. montana*, embora tenha ocorrido uma redução na porcentagem de indivíduos com flores. Miyanishi & Kellman (1986) observaram que o máximo da floração de *Miconia albicans* ocorreu no terceiro período reprodutivo após a passagem do fogo, enquanto Hoffmann (1998) e Sanaiotti & Magnusson (1995) observaram a produção máxima de flores ao final de um período de dois anos após a queima. *Piptocarpha rotundifolia* apresenta uma resposta positiva à ocorrência de queimadas, sendo o número de capítulos produzidos no primeiro ano após a queimada, significativamente maior do que em uma área sem queima (Hoffmann, 1998). Embora sem registrar as espécies, Miranda (1995) relata que um ano após um incêndio em cerrado *sensu stricto* o número de espécies em floração não diferiu significativamente do registrado antes da ocorrência do fogo.

Os diferentes efeitos do fogo na produção de flores podem estar refletindo a fenofase da espécie no momento da queima: danos parciais, como morte de ramos resultando na diminuição no porte do indivíduo; ou a ocorrência de morte total da parte aérea, com investimento preferencial na

produção de rebrotas, ao invés de em órgãos reprodutivos (Medeiros, 2002; Hoffmann, 1998).

## PRODUÇÃO DE FRUTOS E DE SEMENTES

Na vegetação do Cerrado, algumas espécies apresentam frutos tolerantes às altas temperaturas durante a passagem da frente de fogo (Cirne, 2002; Landim & Hay, 1996; Coutinho 1977), porém muitas sofrem um efeito negativo (Felfili *et al.*, 1999; Miranda, 1995; Sanaiotti & Magnusson, 1995). Landim & Hay (1996) observaram que para indivíduos de *K. coriacea*, com altura entre um e três metros, o fogo danificou cerca de 60% dos frutos, enquanto que em uma área protegida contra a queima apenas 8% dos frutos apresentavam dano. Cirne (2002) mostrou que os frutos de *K. coriacea* são eficientes na proteção das sementes durante queimadas. A temperatura máxima externa dos frutos pode atingir valores entre 390°C a 730°C, dependendo da sua posição na copa, enquanto que no interior do fruto a temperatura máxima é da ordem de 62°C, sendo de cerca de 100s a permanência de temperatura superior a 60°C, não afetando a viabilidade das sementes. O autor também registrou um aumento significativo na deiscência de frutos após a passagem do fogo, confirmando que o fogo promove a abertura de frutos de algumas espécies do Cerrado, como já reportado para *Anemopaegma arvenses*, *Gomphrena macrocephala*, *Jacaranda decurrens* e *Nautonia nummularia*, espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarbustivo (Coutinho, 1977).

Sanaiotti & Magnusson (1995) apresentam resultados sobre o efeito de diferentes regimes de queima (duas

queimadas anuais, dois anos sem queima e mais duas queimadas anuais) na produção de frutos em árvores e arbustos em um cerrado na Amazônia. Os diferentes regimes de queima resultaram em diferentes efeitos na produção de frutos para as espécies arbóreas e arbustivas. Considerando as espécies arbóreas presentes na área, *Anacardium occidentale*, *Byrsonima coccolobifolia*, *B. crassifolia*, *Myrcia* sp., *Pouteria ramiflora* e *Simarouba amara*, os autores concluíram que o fogo não alterou o número de espécies frutificando, quando comparado ao período sem queima. Sanaiotti & Magnusson (1995) atribuem essa resposta à altura das copas, geralmente acima 1,5m (evitando a ação direta das chamas), e à eficiente proteção oferecida pela casca espessa destas espécies. Não foi observado um único padrão de produção de frutos pós-fogo para as espécies arbustivas. Algumas espécies não tiveram a produção de frutos alterada pela queimada, outras apresentaram um atraso no período de frutificação ou somente produziram frutos no ano seguinte à ocorrência do fogo, e algumas espécies, como consequência da grande redução da parte vegetativa, necessitariam de três ou mais anos para retornar a situação pré-fogo.

Em um estudo sobre o sucesso reprodutivo de *Byrsonima crassa*, após a ocorrência de um incêndio no final da estação seca em área de cerrado *sensu stricto*, Silva *et al.* (1996) concluíram que o fogo estaria estimulando a produção de botões e frutos. Hoffmann (1998) observou que os frutos e sementes de *Miconia albicans*, *Myrsine guianensis*, *Roupala montana*, *Periandra mediterranea*, *Rourea induta* e *Piptocarpha rotundifolia* foram danificados por uma queimada ocorrida no final da estação seca. Todas as

espécies, exceto *P. rotundifolia*, apresentaram um declínio na produção de sementes como resposta à queimada. Segundo o autor, o decréscimo no número de sementes é consequência da redução no tamanho dos indivíduos e do investimento em reprodução vegetativa. Andrade (2002), em estudo sobre a recuperação do banco de sementes no solo de uma área de cerrado *sensu stricto* queimada em agosto, no meio da estação seca, determinou que 10 meses após a queima o número de sementes viáveis de *M. albicans* era de 40 sementes/m<sup>2</sup>, quatro vezes maior do que o determinado no dia anterior à queimada. Felfili *et al.* (1999), em estudo sobre fenologia de *Stryphnodendron adstringens*, observaram que um incêndio ocorrido no final da estação seca, afetou a produção de frutos. A frutificação ocorreu no segundo ano após o incêndio e o número de frutos produzidos foi a metade daquele registrado no período pré-fogo. Miranda (1995) em estudo da fenologia de um cerrado *sensu stricto* registrou que, um mês após a ocorrência de um incêndio, houve uma redução de 33% no número de espécies com frutos, e que após um ano, apenas sete das 19 espécies inventariadas apresentavam frutos. Embora esses estudos avaliem efeitos do fogo na produção de frutos e sementes para várias espécies lenhosas do Cerrado, há ainda a necessidade de estudos de longa duração para melhor avaliação desses efeitos quando associados às variações temporais na fenologia das espécies.

## SOBREVIVÊNCIA DE PLÂNTULAS E INDIVÍDUOS JOVENS

Embora na literatura sobre estratégias reprodutivas da vegetação do Cerrado seja dada ênfase para a

reprodução vegetativa de um grande número de espécies lenhosas (Rizzini, 1971; Ferri, 1961), Kanegae *et al.* (2000), Braz *et al.* (2000), Nardoto *et al.* (1998), Oliveira & Silva (1993) reportam que as plântulas de espécies lenhosas do Cerrado são capazes de sobreviver ao estresse imposto pela longa estação seca. Durante esse período, o fogo também pode representar mais um fator a dificultar o estabelecimento das plântulas (Braz *et al.*, 2000; Oliveira & Silva, 1993).

Hoffmann (1996) investigou o efeito de diferentes regimes de queima no estabelecimento de plântulas de *Brosimum gaudichaudii*, *Guapira noxia*, *Kielmeyera coriacea*, *Miconia albicans*, *Myrsine guianensis*, *Periandra mediterranea*, *Roupala montana*, *Rourea induta* e *Zeyheria montana*. Para isso, o sucesso no estabelecimento foi comparado entre uma área de cerrado *sensu stricto* protegida de queima por mais de sete anos, e áreas queimadas há um ano, dois anos, e na estação seca anterior. Os resultados mostram que, para todas as espécies, o estabelecimento de plântulas foi menor na área recentemente queimada do que nos outros tratamentos, mas que não houve diferença significativa no estabelecimento entre a área protegida e aquelas queimadas há um e dois anos.

Oliveira & Silva (1993) em estudos sobre biologia reprodutiva de *K. coriacea* mostraram que apenas 5% das plântulas morreram como consequência do fogo acidental que ocorreu na primeira estação seca após o estabelecimento. Os autores atribuem a alta taxa de sobrevivência dessa espécie ao rápido desenvolvimento do sistema radicular, acumulando água e reservas de amido, nos primeiros estádios de desenvolvimento da plântula. Braz *et al.* (2000), em estudo sobre estabelecimento e

desenvolvimento de plântulas de *Dalbergia miscolobium*, em uma área de cerrado *sensu stricto*, também determinaram baixa taxa de mortalidade (14%) após um incêndio, no final da estação seca e seguinte ao estabelecimento. As plântulas sobreviventes rebrotaram a partir da base, ocorrendo crescimento acentuado da parte aérea nos primeiros meses após o fogo, resultando em um incremento de 5,5cm na parte aérea ao final da estação chuvosa.

Para *Blepharocalyx salicifolius*, Matos (1994) determinou após queimadas prescritas, taxas de mortalidade de cerca de 90% para plântulas e 50% para os indivíduos jovens. As rebrotas a partir da base foram da ordem de 10% e 4% para plântulas e para juvenis, respectivamente. O tamanho crítico para sobrevivência de juvenis foi estimado em 50cm de altura e 0,6cm de diâmetro basal. Para plântulas de *M. albicans*, Miyanishi & Kellman (1986) determinaram mortalidade de 40% após queima, e estabeleceram a altura crítica para tolerância ao fogo como sendo entre 4,3 e 7,5cm. Hoffmann (1998) observou que queimadas bienais resultavam em altas taxas de mortalidade para plântulas e vergôntes de cinco espécies lenhosas do Cerrado. Para plântulas de *M. albicans* a mortalidade foi de aproximadamente 100%, 86% para *M. guianensis*, 64% para *R. montana*, 50% para *P. mediterranea* e de 33% para *R. induta*. Entretanto, para vergôntes de *M. guianensis*, *R. montana* e *R. induta*, com diâmetro entre 1,7 e 2,4mm, foi observada alta taxa de sobrevivência. Esses estudos mostram que o estabelecimento e desenvolvimento das plântulas estão relacionados ao intervalo entre queimas, com queimadas freqüentes favorecendo a reprodução vegetativa. Com curtos

intervalos entre queimadas, as plântulas não se desenvolvem o suficiente para atingir o tamanho crítico de escape ao fogo, e as sucessivas rebrotas resultam em exaustão dos órgãos de reserva (Whelan, 1995).

## TAXAS DE MORTALIDADE E SOBREVIVÊNCIA DE REBROTAS

Embora muitas espécies do Cerrado apresentem características morfológicas de resistência ao fogo - como casca espessa, proteção de gemas e órgãos subterrâneos - e fisiológicas como a translocação de nutrientes para tecidos subterrâneos no início da seca (Coutinho, 1990), diferentes tipos de danos na vegetação lenhosa têm sido relatados. Esses danos são classificados como leves, com chamuscamento e queda das folhas, ou morte dos ramos mais finos (Ramos, 1990); severos, que incluem a morte da parte aérea com rebrota basal e(ou) subterrânea ("topkill"); ou permanentes, resultando na morte do indivíduo (Sato, 2003; 1996; Rocha e Silva, 1999; Souza & Soares, 1983). O conjunto desses danos resulta na alteração da composição de espécies e na estrutura da vegetação (Sato, 2003; Sato *et al.*, 1998).

A rápida recuperação pós-fogo, via rebrotas na parte epigéia, a partir de raízes gemíparas ou da parte basal do tronco tem sido amplamente reportada na literatura (Sato, 2003; 1996; Rocha e Silva, 1999; Cardinot, 1998; Coutinho, 1990; Ramos, 1990; Souza & Soares, 1983). Para espécies lenhosas de campo sujo, Rocha e Silva (1999) mostrou que, após três queimadas bienais, cerca de 35 a 65% dos indivíduos apresentaram exclusivamente rebrotas na parte epigéia e que apenas 19% dos indivíduos apresentavam rebrotas basais ou

subterrâneas. Para o cerrado *sensu stricto*, Sato (1996) observou que, após duas queimadas bienais, cerca de 66% da vegetação lenhosa apresentou rebrota na parte epigéia e 20% rebrotas basais ou subterrâneas. Para cerradão, após um incêndio em área que estava protegida contra o fogo por 50 anos, Souza & Soares (1983) observaram um padrão inverso, 3% dos indivíduos apresentaram rebrotas na parte epigéia e 77% exclusivamente rebrotas basais.

Queimadas recorrentes podem ter um grande impacto na sobrevivência de rebrotas. Medeiros (2002) mostrou que cerca de 60% das rebrotas que morrem em consequência de queimadas apresentam altura de até 60cm, que corresponde à zona de temperaturas máximas determinadas para queimadas de Cerrado (Sato, 1996; Miranda *et al.*, 1996; 1993). Medeiros (2002) mostrou também que cerca de 70% dessas rebrotas apresentam diâmetro basal entre 0,5 e 1,5cm, indicando que as rebrotas não apresentam uma proteção efetiva da casca contra as altas temperaturas. Rocha e Silva & Miranda (1996) e Guedes (1993) determinaram uma espessura mínima de 6 a 8mm para que a casca ofereça uma proteção efetiva ao câmbio durante queimadas de Cerrado. Nos ramos mais baixos, nas rebrotas ou nos indivíduos jovens que não apresentem casca espessa, a temperatura no câmbio pode ultrapassar 60°C por períodos longos o suficiente para causar a morte do tecido (Rocha e Silva & Miranda, 1996; Guedes, 1993).

O efeito de duas queimadas anuais em indivíduos de pequeno porte, isto é, entre 20 e 100cm de altura e diâmetro basal maior que 1,5cm, foi investigado por Armando (1994) para nove espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto*. As duas queimadas resultaram

em uma redução de cerca de 4% no número de indivíduos. O autor mostrou também que ocorreu uma redução da ordem de 10cm na altura dos indivíduos, indicando que queimadas freqüentes podem atrasar o crescimento dos indivíduos retardando a passagem para o estágio reprodutivo. Ramos (1990) observou que indivíduos lenhosos com altura até 128cm e com diâmetro, a 30cm do solo, menores de 3cm são seriamente danificados durante queimadas. Sato (1996), em estudo sobre mortalidade da vegetação lenhosa em cerrado *sensu stricto*, mostrou que após uma queimada os indivíduos com altura entre 30 e 200cm, foram aqueles que apresentaram maior taxa de mortalidade (40%) e que, como consequência dos danos sofridos, uma queimada realizada dois anos depois, fez com que a mortalidade para os indivíduos com altura inferior a 2m aumentasse para cerca de 70%.

Sato (2003) calculou taxas de mortalidade para a vegetação lenhosa de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas nos meses de junho, agosto e setembro. Após cinco queimadas bienais a mortalidade foi de 39% na área queimada em junho, e cerca de 45% nas áreas queimadas em agosto e setembro. Ao considerar o total de caules destruídos (“topkill” + mortos) estes valores passam a ser da ordem de 44% para a área queimada em junho, 59% para a queimada em agosto e 75% para a queimada em setembro, indicando um efeito diferenciado do fogo na vegetação lenhosa em relação à época da queima, isto porque várias espécies lenhosas do Cerrado renovam as folhas, florescem ou frutificam durante a estação seca (Oliveira & Gibbs, 2000).

Para campo sujo, Medeiros (2002) mostrou que três queimadas anuais

realizadas no meio da estação seca, após 25 anos de proteção contra o fogo, resultaram na morte de 37% dos indivíduos lenhosos presentes na área e 77% de caules destruídos. Rocha e Silva (1999) em estudo sobre o efeito de diferentes regimes de queima na vegetação lenhosa de campo sujo mostrou que, após proteção contra fogo por 18 anos, três queimadas bienais em meados da estação seca, reduziram em 20% o número de indivíduos lenhosos na área de estudo e, em área adjacente, submetida a duas queimadas quadrienais, a mortalidade foi de 21%. Entretanto, ao considerar o número de caules destruídos o autor obteve valores da ordem de 33% para a área sob regime bienal e de 54% para a área sob regime quadrienal. A diferença no número de caules destruídos apresentados por Medeiros (2002) e Rocha e Silva (1999) pode ser consequência do limite mínimo adotado para o diâmetro dos indivíduos inventariados. Medeiros (2002) incluiu todos os indivíduos com diâmetro igual ou superior a 2,0cm, enquanto que Rocha e Silva (1999) adotou 5,0cm como diâmetro mínimo. Estes estudos mostram que, embora a vegetação lenhosa apresente adaptações de proteção contra o fogo, queimadas sucessivas com intervalos de um a quatro anos, comuns na região do Cerrado (Coutinho, 1990; 1982), resultam em altas taxas de mortalidade e de “topkill” com alterações significativas na estrutura da vegetação.

A alteração na estrutura e composição da vegetação resultante de queimadas sucessivas foi investigada por Andrade (2002) em estudo do banco de sementes do solo em uma área de cerrado *sensu stricto* submetida a quatro queimadas bienais e em outra protegida do fogo por 25 anos. A autora mostra que o banco de sementes nas duas áreas é significativamente diferente. O banco

de sementes viáveis de monocotiledôneas da área queimada apresentou cerca de 103 sementes/m<sup>2</sup> enquanto que o da área protegida apenas 23 sementes/m<sup>2</sup>. Já o banco de sementes de dicotiledôneas foi maior na área protegida (23 sementes/m<sup>2</sup>) do que na área queimada (6 sementes/m<sup>2</sup>). O favorecimento das gramíneas também foi observado por Sato (2003) ao mostrar que após 18 anos de proteção contra o fogo, as gramíneas representavam cerca de 45% do total de biomassa do estrato rasteiro, e que após cinco queimadas bienais passaram a representar cerca de 70%. Estes estudos indicam que a alteração na estrutura da vegetação lenhosa resultante de queimadas sucessivas, via altas taxas de mortalidade e “topkill”, resultam em sistemas com fisionomias mais abertas, com o favorecimento das gramíneas em relação às lenhosas. O que por sua vez, pode tornar o sistema mais susceptível a queimadas durante a estação seca dificultando a regeneração do sistema para sua forma fisionômica pré-fogo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora ainda não tenhamos informação sobre a frequência de eventos de incêndios naturais no Cerrado, vários estudos mostram que o fogo vem ocorrendo há milhares de anos. Estudos recentes mostram também que os incêndios causados por raios ocorrem preferencialmente no período de transição entre a estação seca e chuvosa e, em maior frequência, durante a estação chuvosa. Porém, com a ocupação do Cerrado para fins agropastoris o regime natural de queima tem sofrido alterações, com as queimadas sendo realizadas durante a estação seca e com intervalo entre queima de um a quatro anos. O conhecimento sobre os efeitos

do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado, sintetizado nesta revisão, sugere que estas alterações no regime de queima resultam em fisionomias mais abertas como consequência das altas taxas de mortalidade, alterações nas taxas de recrutamento e favorecimento da vegetação do estrato rasteiro. Embora a literatura sobre o assunto seja considerável, fica evidente o pequeno número de espécies estudadas, quanto à resposta ao fogo, em relação à alta diversidade de espécies lenhosas deste Bioma. Poucos são os estudos de longa duração que analisam o efeito do fogo em populações e comunidades e raros

aqueles que investigam os efeitos do fogo no funcionamento do sistema, quer seja na taxa de absorção de carbono ou de uso de água (Breyer, 2001; Santos, 1999; Silva, 1999; Miranda *et al.*, 1997), bem como estudos relacionados à recuperação do sistema. Portanto, é necessário ampliar o número de espécies estudadas, iniciar estudos sobre recuperação de áreas submetidas a queimadas freqüentes e também sobre aqueles relacionados aos processos e funcionamentos do sistema, para que o fogo, como ferramenta de manejo, possa ser utilizado com critério e segurança para a manutenção da diversidade da vegetação lenhosa do Cerrado.

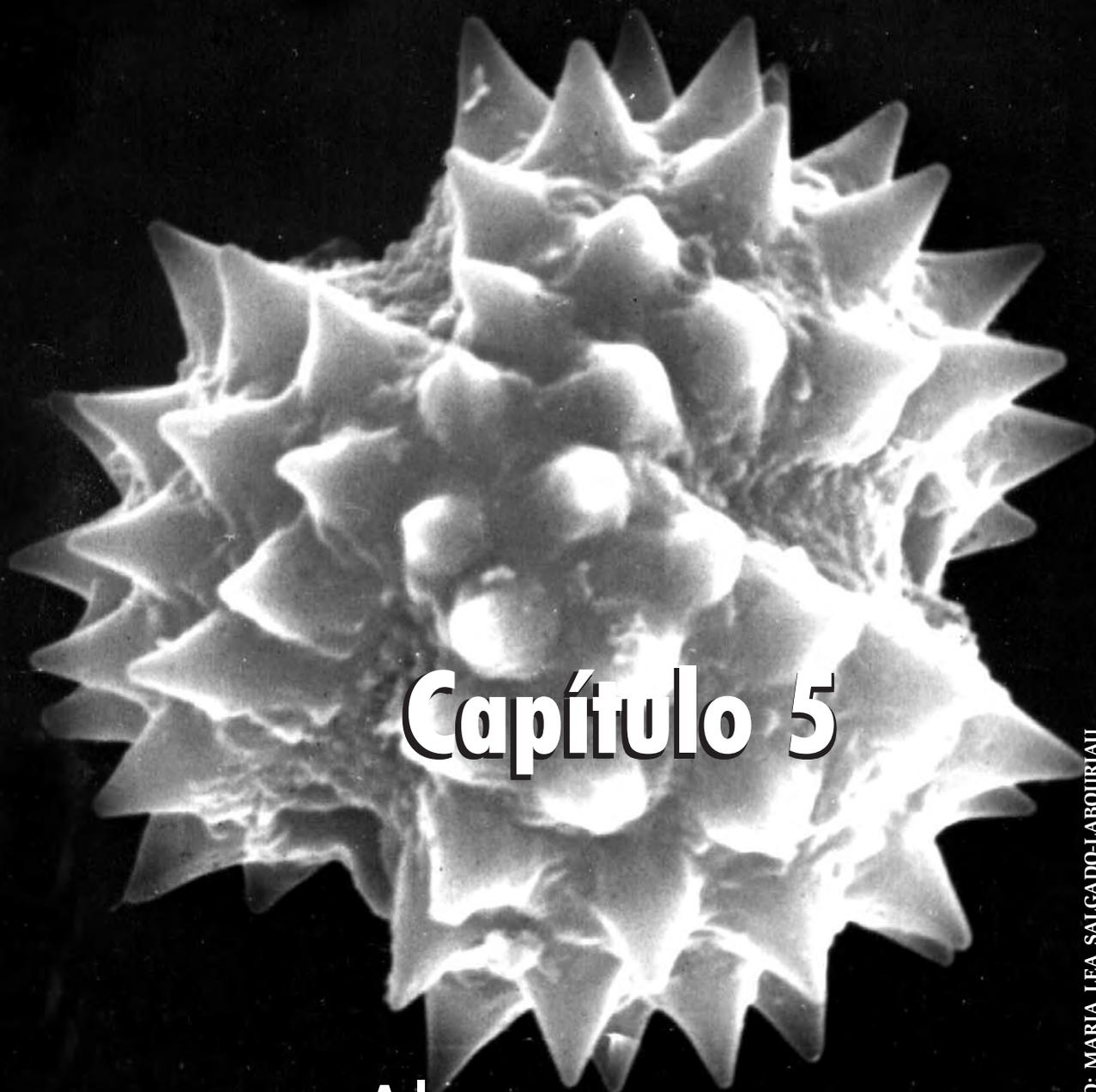
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, L. A. Z. 2002. Impactos do fogo no banco de sementes do solo de cerrado *sensu stricto*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Armando, M. 1994. *O impacto do fogo na rebrota de algumas espécies de árvores do Cerrado*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Braz, V. S., M. F. Kanegae, & A. C. Franco. 2000. Estabelecimento e desenvolvimento de *Dalbergia miscolobium Benth*, em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. *Acta Botanica Brasílica* 14: 27-35.
- Breyer, L. M. 2001. *Fluxos de energia, carbono e água em áreas de cerrado sensu stricto submetidas a diferentes regimes de queima*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Cardinot, G. K. 1998. Efeitos de diferentes regimes de queima nos padrões de rebrotamento de *Kielmeyera coriacea* Mart. e *Roupala montana* Aubl., duas espécies típicas do cerrado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- César, H. L. 1980. *Efeitos da queima e corte sobre a vegetação de um campo cujo na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Cirne, P. 2002. Efeitos do fogo na regeneração da lenhosa *Kielmeyera coriacea* em áreas de cerrado sensu stricto: mecanismos de sobrevivência e época de queima. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Coutinho, L. M. 1976. *Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do Cerrado*. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- \_\_\_\_\_. 1977. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. II - As queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarbustivo. *Boletim de Botânica, USP* 5: 57-64.
- \_\_\_\_\_. 1981. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. Nota sobre a ocorrência e datação de carvões vegetais encontrados no interior do solo, em Emas, Pirassununga, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 4: 115-117.

- \_\_\_\_\_. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. In B. J. Huntley & B. H. Walker (Eds.). *Ecology of tropical savannas*. p. 273-291. Springer-Verlag, Berlin. Germany.
- \_\_\_\_\_. 1990. Fire in the Ecology of Brazilian Cerrado. In J. G. Goldammer (Ed.). *Fire in the tropical biota: Ecological processes and global challenges*. Ecological Studies, p. 82-105. Springer-Verlag, Berlin. Germany.
- Eiten, G. 1994. Vegetação do Cerrado. In M. N. Pinto (Org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. pp. 17-73. Edunb/SEMATEC, Brasília, DF.
- Felfili, J. M., M. C. Silva Jr., B. J. Dias, & A. V. Rezende. 1999. Estudo fenológico de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville no cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 22: 83-90.
- Ferraz-Vicentini, K. R. C. 1993. *Análise palinológica de uma vereda em Cromínia, GO*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Ferri, M. G. 1961. Aspects of soil-water-plant relationships in connection with some Brazilian types of vegetation. In *Tropical soils and vegetation: proceedings of the Abidjan Symposium*. p.103-109. UNESCO.
- Freitas, R. I. P. 1998. *Abelhas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) e a floração de plantas em áreas de cerrado recém queimadas no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Frost, P. H. G., & F. Robertson. 1987. The ecological effects of fire in savannas. In B. H. Walker (Ed.). *Determinants of tropical savannas*. p. 93-141. IRL Press Limited, Oxford, UK.
- Guedes, D. M. 1993. *Resistência das árvores do Cerrado ao fogo: papel da casca como isolante térmico*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Haddad, C. R. B., & I. F. M. Valio. 1993. Effect of fire on flowering of *Lantana montevidensis* Briq. *Journal of Plant Physiology* 141: 704-707.
- Hoffmann, W. A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. *Journal of Ecology* 84: 383-393.
- \_\_\_\_\_. 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. *Journal of Applied Ecology* 35: 422-433.
- Kanegae, M. F., V. S. Braz, & A. C. Franco. 2000. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. *Revista Brasileira de Botânica* 23: 459-468.
- Klink, C. A., & O. T. Solbrig. 1996. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do Cerrado. In G. Sarmiento & M. Cabido (Eds.). *Biodiversidad y Funcionamiento de Pastizales y Sabanas en América Latina*. pp.231-244. CYTED y CIELAT, Venezuela.
- Landim, M. F., & J. D. Hay. 1996. Impacto do fogo sobre alguns aspectos da biologia reprodutiva de *Kielmeyera coriacea* Mart. *Revista Brasileira de Biologia* 56: 127-134.
- Matos, M. R. B. 1994. *Efeito do fogo sobre os regenerantes de *Blepharocalyx salicifolius* H. B. K. (Myrtaceae) em Cerrado aberto, Brasília, DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Medeiros, M. B. 2002. *Efeitos do fogo nos padrões de rebrotamento de plantas lenhosas, em campo sujo, após queimadas prescritas*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Miranda, A. C., H. S. Miranda, I. F. O. Dias, & B. F. S. Dias. 1993. Soil and air temperatures during prescribed cerrado fires in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9: 313-320.
- Miranda, A. C., H. S. Miranda, J. Lloyd, J. Grace, J. A. Francey, J. McIntyre, P. Meier, P. Riggan, R. Lockwood, & J.

- Brass. 1997. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell and Environment* 20: 315-328.
- Miranda, H. S., E. P. Rocha e Silva, & A. C. Miranda. 1996. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In H. S. Miranda, C. H. Saito & B. F. S. Dias (Orgs.). *Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga*. pp. 1-10. ECL/UnB, Brasília, DF, Brasil.
- Miranda, I. S. 1995. Fenologia do estrato arbóreo de uma comunidade de cerrado em Alter-do-Chão, PA. *Revista Brasileira de Botânica* 18: 235-240.
- Miyaniishi, K., & M. Kellman. 1986. The role of fire in the recruitment of two neotropical savanna shrubs, *Miconia albicans* and *Clidemia sericea*. *Biotropica* 18: 224-230.
- Nardoto, G. B., M. P. Souza, & A. C. Franco. 1998. Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. nos cerrados do Planalto Central: efeitos do estresse hídrico e sombreamento. *Revista Brasileira de Botânica* 21: 313-319.
- Oliveira, P. E. 1992. *A palynological record of late Quaternary vegetational and climatic change in southern Brazil*. Tese de Doutorado, Ohio State University, USA.
- Oliveira, P. E. A. M. & J. C. S. Silva. 1993. Reproductive biology of two species of *Kielmeyera* (Guttiferae) in the cerrados of Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 9: 67-79.
- \_\_\_\_\_ & P. E. Gibbs. 2000. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. *Flora* 195: 311-329.
- Ramos, A. E. 1990. *O efeito de queima sobre a vegetação lenhosa do Cerrado*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Ramos Neto, M. B., & V. R. Pivello. 2000. Lightning Fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking Management Strategies. *Environmental Management* 26: 675-684.
- Ribeiro, J. F., & B. M. T. Walter. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In S. M. Sano & S. P. de Almeida (Eds.). *Cerrado: ambiente e flora*. p. 89-168. EMBRAPA-CPAC. Planaltina, DF.
- Rizzini, C. T. 1971. Aspectos ecológicos da regeneração de algumas plantas do cerrado. In M. G. Ferri (Ed.). *III Simpósio sobre o Cerrado*. p. 61-64. Itatiaia, Belo Horizonte, MG.
- Rocha e Silva, E. P. 1999. *Efeito do regime de queima na taxa de mortalidade e estrutura da vegetação lenhosa de campo sujo de cerrado*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- \_\_\_\_\_ & H. S. Miranda. 1996. Temperatura do câmbio de espécies lenhosas do cerrado durante queimadas prescritas. In R. C. Pereira & L. C. B. Nasser (Eds.). *Anais do VIII Simpósio sobre o Cerrado / 1<sup>st</sup> International Symposium on Tropical Savannas*. pp. 253-257. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, DF, Brasil.
- Salgado-Labouriau, M. L., & K. R. Ferraz-Vicentini. 1994. Fire in the Cerrado 32,000 years ago. *Current Research in the Pleistocene* 11: 85-87.
- Sanaïotti, T. M., & W. E. Magnusson. 1995. Effects of annual fires on the production of fleshy fruits eaten by birds in a Brazilian Amazonian savanna. *Journal of Tropical Ecology* 11: 53-65.
- Santos, A. J. B. 1999. *Fluxos de energia, carbono e água em áreas de campo sujo*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Sato, M. N. 1996. *Taxa de mortalidade da vegetação lenhosa do cerrado submetida a diferentes regimes de queima*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Efeito a longo prazo de queimadas na estrutura da comunidade de lenhosas da vegetação do cerrado sensu stricto*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

- \_\_\_\_\_, A. A. Garda, & H. S. Miranda. 1998. Effects of fire on the mortality of woody vegetation in Central Brazil. In D. X. Viegas (Ed.). *Proceedings of the 14<sup>th</sup> Conference on fire and forest meteorology*, Volume 2, p. 1777-1783. University of Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Silva, D. M. S., J. D. Hay, & H. C. Morais. 1996. Sucesso reprodutivo de *Byrsonima crassa* (Malpighiaceae) após uma queimada em um cerrado de Brasília - DF. In H. S. Miranda, C. H. Saito & B. F. S. Dias (Orgs.). *Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga*. p. 122-127. ECL/UnB, Brasília, DF, Brasil.
- Silva, G. T. 1999. *Fluxos de CO<sub>2</sub> em um campo sujo submetido a queimada prescrita*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Souza, M. H. A. O., & J. J. Soares. 1983. Brotamento de espécies arbustivas e arbóreas, posteriormente a uma queimada, no cerrado. *Anais do Seminário Regional de Ecologia* 3: 263-275.
- Whelan, R. J. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, London, UK.



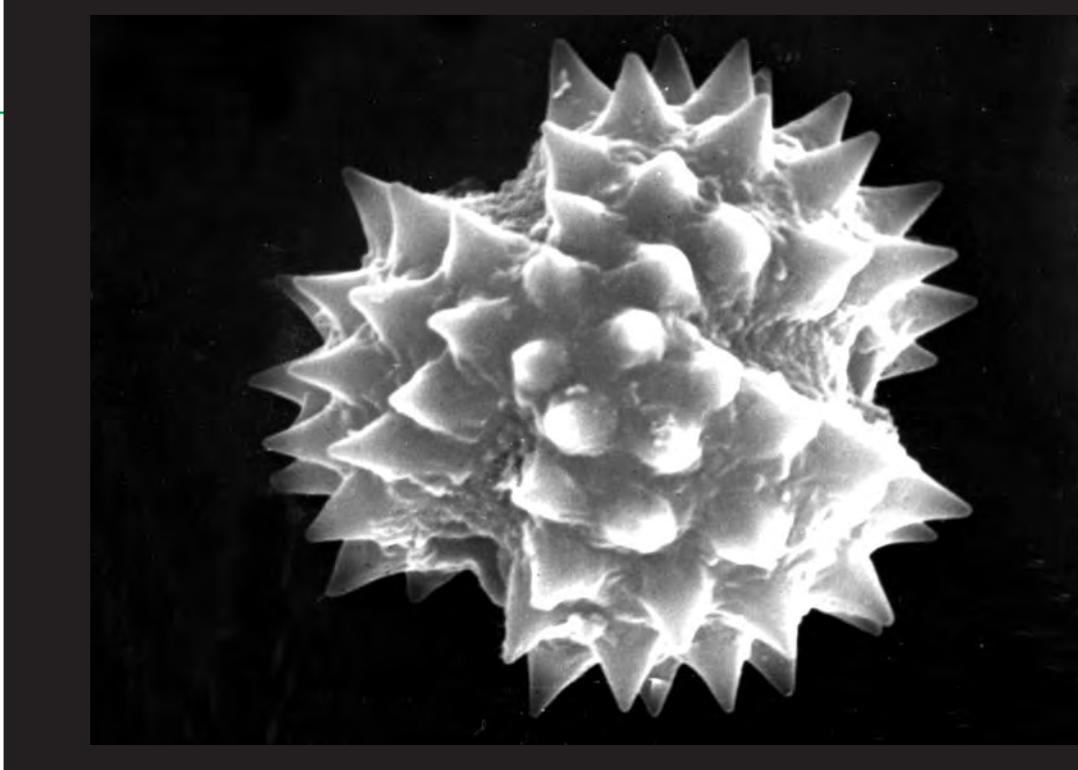
# Capítulo 5

## Alguns aspectos sobre a Paleoecologia dos Cerrados

FOTO: MARIA LEA SALCADO-LABOURIAU

**Maria Léa Salgado-Labouriau**  
Instituto de Geociências  
Universidade de Brasília  
Brasília, DF





## INTRODUÇÃO

Nas décadas de 1960 e 1970 muitos ecólogos acreditavam que os cerrados e outros tipos de savana eram o resultado do desmatamento e queima das florestas. A vegetação natural das terras baixas tropicais seria a floresta. Infelizmente, estas idéias ainda perduram em certos meios.

Quando, no final dos anos de 1970, nós apresentamos um projeto para estudar os sedimentos do lago de Valência a 403m altitude, na Venezuela, com o propósito de conhecer a história deste lago, e a vegetação e clima da região em torno no final do Quaternário, o projeto foi considerado sem sentido por alguns ecólogos e botânicos. Eles acreditavam que toda a região, onde se situa o lago, era coberta por florestas tropicais úmidas que foram cortadas e destruídas pelos europeus a partir do século 18 para formar pastagens de criação de gado e para agricultura.

O estudo dos sedimentos do lago foi realizado por um grupo de cientistas de diferentes especialidades e mostrou que a realidade era outra (Salgado-Labouriau,

1980; Bradbury *et al.*, 1981). Ao contrário do que se supunha, por volta de 13.000 AP (anos antes do Presente) não havia lago na região, mas um pântano ou lagoa intermitente onde hoje está o grande lago com cerca de 40m de profundidade. Nesse tempo a vegetação em torno do pântano era do tipo semi-árido e sem árvores. Essa situação continuou até cerca que 10.000 anos atrás quando os estudos geoquímicos e o registro de microfósseis mostraram o início da formação de uma lagoa salobra com diatomáceas e ostracodes de água salgada e uma vegetação de plantas halófitas nas margens. Nessa época começa a ser depositado o pólen de algumas árvores. O registro palinológico mostra, entre outros, a presença dos gêneros *Spondias* e *Bursera*, duas árvores comuns na vegetação do **espinar** (Schnee, 1973, entre outros), que é semelhante à caatinga do Brasil, e ocorrem nela também (Joly, 1979).

Por volta de 8.700 anos radiocarbônicos Antes do Presente (AP) diatomáceas, ostracodes e plantas halófitas foram substituídas por táxons de água doce. Isso indica que a salinidade começou a diminuir e a lagoa

a aumentar (Bradbury *et al.*, 1981). Um lago de água doce começou a se formar e a crescer e se manteve como tal, até o presente, com pequenas oscilações de salinidade.

A partir daí o vale de Valencia passou a ser coberto por uma savana, semelhante ao cerrado, e por matas decíduas. Nas encostas das montanhas que circundam o lago surgiram faixas altitudinais de floresta a partir de 1.000m de altitude. O clima, que no final do Pleistoceno era semi-árido, passou a semi-úmido, com uma estação seca pronunciada durante a qual ocorre pouca ou nenhuma precipitação de chuva. Nesse tempo, indígenas pré-colombianos ocuparam vários sítios em volta do lago e a população já era grande quando chegaram os espanhóis na região, por volta do século 18. A partir daí houve grande desmatamento devido à introdução de agricultura e gado europeu.

Idéias semelhantes em relação ao lago de Valência, de que as vegetações abertas como os campos e os cerrados seriam resultados de distúrbios antropogênicos (ver comentários em Salgado-Labouriau, 1980; Bradbury *et al.*, 1981), dominavam entre os biólogos e ecólogos do Brasil, da mesma forma que na Venezuela, nas décadas de 1960 e 1970. Segundo F.K. Rawittscher e alguns outros pesquisadores, o cerrado era uma formação vegetal secundária resultante do fogo e do desmatamento feito pelo homem para criação de áreas de agricultura e pecuária. Veja comentários a respeito em Beard (1953) e L. Labouriau (1966, p. 27-29).

Nos anos de 1960 surgiu uma outra hipótese para explicar a existência dos cerrados, defendida por Luiz G. Labouriau. Ele argumentava que este tipo de vegetação deveria ser muito antigo

porque havia muitos pares de espécies vicariantes entre a mata seca e o cerrado e, principalmente, porque existiam mais de mil espécies de Angiospermas exclusivas dos cerrados. Esta diversidade não poderia ter surgido nos 400 anos de colonização europeia, nem poderiam ter se especiado tantos táxons durante os 10 ou 12 mil anos de ocupação da área pelos indígenas. As duas hipóteses foram veementemente debatidas entre 1960 e 1973, como se pode constatar, por exemplo, nas publicações do Segundo Simpósio sobre o Cerrado (Labouriau, 1966) e do Terceiro Simpósio sobre o Cerrado (Ferri, 1971).

Estes dois pontos de vista continuaram na literatura até o início da década de 1990: uma vegetação secundária recente *versus* uma vegetação natural muito antiga. Nessa época começaram a surgir as publicações dos primeiros resultados sobre a paleovegetação da região dos cerrados que puseram um fim a este debate e deram informações relevantes sobre a história do ecossistema dos cerrados e das matas da região.

## VEGETAÇÃO ATUAL DA REGIÃO DOS CERRADOS

A região dos cerrados é constituída por um mosaico de tipos de vegetação. Nela ocorrem cerrados, campos, matas secas decíduas ou semidecíduas, matas de galeria, veredas (buritizais) e formações brejosas. O ecossistema dos cerrados domina sobre todos os outros tipos de vegetação e ocupa a maior parte da área (Warming, 1908; Labouriau, 1966; Pereira *et al.*, 1990; Sano e Almeida, 1998). Porém, o Cerrado não é um ecossistema simples, mas um conjunto de savanas que vai desde uma formação vegetal aberta com poucas

árvores e arbustos até uma formação fechada onde as copas das árvores quase se tocam (cerradão). Em todos eles as gramíneas dominam o estrato inferior. As árvores são relativamente baixas, geralmente tortuosas e com folhas espessas. Em algumas áreas elas estão ausentes e o cerrado arbóreo é substituído por um cerrado arbustivo. Em todos os tipos de cerrado as famílias dominantes são as Gramineae, Compositae e Leguminosae (Tabela. 1). Esta última inclui cerca de 400 espécies de árvores, arbustos e ervas de Caesalpinoideae, Papilionoideae e Mimosoideae exclusivas dos cerrados (Mendonça *et al.*, 1998). Cerca de 90 famílias de dicotiledôneas e oito de monocotiledôneas ocorrem nos cerrados. As Gimnospermas estão ausentes e as Pteridófitas estão reduzidas a algumas espécies.

Outros tipos de vegetação ocorrem na região dos cerrados. Existem algumas áreas de campo onde muitas ervas dos cerrados crescem junto às espécies típicas dos campos, há áreas de mata seca, semidecídua ou decídua e os capões de mata. Ao longo dos numerosos cursos de água que cortam a região, existem matas de galeria, brejos, pântanos e veredas (buritizais). *Podocarpus* é o único gênero de Gimnospermas que ocorre na região, mas ele só cresce nas matas secas e de galeria. As veredas (ou buritizais) são terrenos permanentemente inundados, geralmente cortados por um curso de água, e que são caracterizadas pela palmeira *Mauritia* (buriti) que pode ocorrer em grande número (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1998; Barberi *et al.*, 2000).

**Tabela 1. Distribuição dos gêneros das famílias mais freqüentes de Angiospermas na região dos cerrados. Baseada na lista dada por Mendonça *et al.* (1998)**

FAMÍLIA	Ecossistema cerrado		Matas*		Bioma do Cerrado**	
	Número total de gêneros	Gêneros arbóreos	Número total de gêneros	Gêneros arbóreos	Número total de gêneros	Número total de espécies
Leguminosae	70	28	69	38	103	777
Compositae	67	04	39	02	106	557
Gramineae	37	00	25	00	74	371
Rubiaceae	33	12	26	15	46	250
Melastomaceae	16	04	12	04	22	231
Myrtaceae	12	08	13	11	15	211
Euphorbiaceae	16	02	18	12	27	183
Malpighiaceae	14	03	09	01	16	126
Lythraceae	06	02	03	01	06	113
Apocynaceae	16	04	15	04	23	088
Solanaceae	03	00	08	01	10	052
Moraceae	02	00	07	06	07	035

\* Inclui matas úmidas, secas, semidecíduas e de galeria.

\*\* Inclui o cerrado propriamente dito, os campos, matas, florestas de galeria, pântanos, veredas e buritizais.

A maior parte dos cerrados, do cerrado e das matas secas do Brasil Central está sendo destruída nestes últimos 40 anos à medida que a população humana cresce. A vegetação original foi substituída em muitas áreas por pastagens e, ultimamente, por extensas plantações de soja. Ainda existem algumas áreas com um cerrado pouco perturbado, principalmente, em parques nacionais e reservas.

As queimadas são comuns na estação seca e as plantas dos cerrados têm vários tipos de adaptação morfológica e fisiológica ao fogo e à seca prolongada. Fogo antropogênico, deliberado ou acidental, ocorre desde o século 18. Entretanto, o estudo de sedimentos em lagos, lagoas e veredas mostram que o fogo natural existe pelo menos desde 40.000 anos atrás (Salgado-Labouriau e Ferraz-Vicentini, 1994; Salgado-Labouriau *et al.*, 1998).

## ANÁLISES PALEOECOLÓGICAS

As análises paleoecológicas, incluindo pólen, esporos de fungos e microalgas de sedimentos de cinco localidades do Brasil Central já foram publicadas: lagoa dos Olhos, MG (de Oliveira, 1992), vereda perto de Cromínia, GO (Ferraz-Vicentini e Salgado-Labouriau, 1996; Salgado-Labouriau *et al.*, 1997), lagoa Santa, MG (Parizzi *et al.*, 1998), vereda das Águas Emendadas, DF (Barberi *et al.*, 2000) e lagoa Bonita, DF (Barberi, 2001). Também foram estudados os últimos 5.000 anos dos sedimentos da lagoa Feia, GO (Ferraz-Vicentini, 1999) e as análises estão sendo completadas para os últimos 10.000 anos. Além destas, foram estudadas outras localidades fora da área *core* dos cerrados. Os dados e conclusões destes trabalhos são revistos neste artigo.

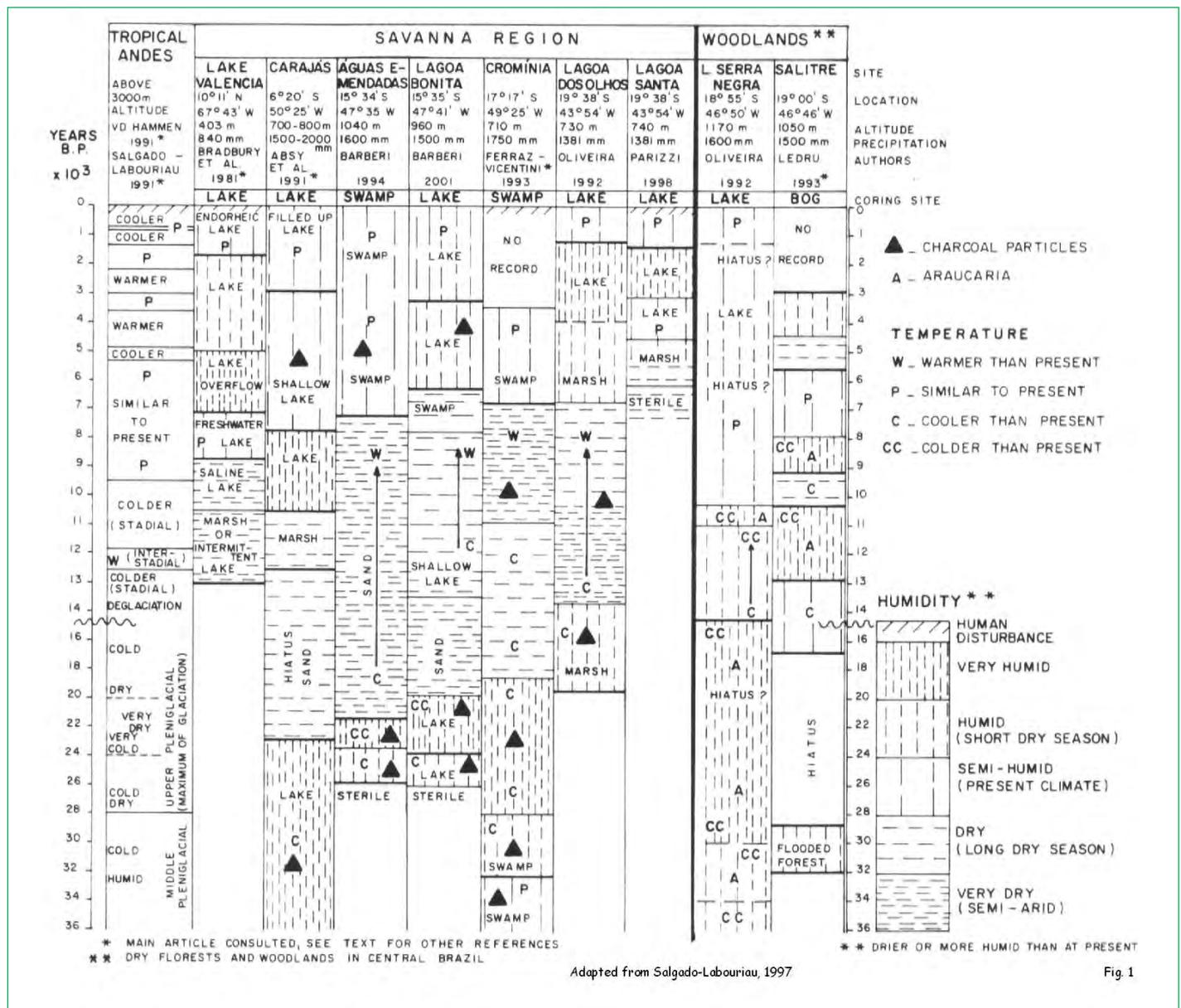
No final da última glaciação pleistocênica (Würm-Wisconsin) a parte superior das montanhas, acima de 3.250m de altitude, nos Andes tropicais (Colômbia, Venezuela e Equador), estava coberta por geleiras e gelo glacial (Hastenrath, 1979; Schubert e Clapperton, 1990; Clapperton, 1993) que se estendiam a mais de mil metros abaixo da linha atual das neves (4.700m de altitude). Entre 36.000 e 28.000 anos radiocarbônicos Antes do Presente (AP) a parte alta dos Andes tropicais era muito fria e úmida (van der Hammen, 1974; Hooghiemstra, 1984; Kuhry, 1988). Nas localidades de cerrado, onde o registro fóssil atinge estas idades (Cromínia e vereda de Águas Emendadas) e no platô de Carajás, no nordeste da Amazônia (Absy *et al.*, 1991; Soubiès *et al.*, 1991) o clima era úmido e relativamente frio (Figura. 1). A temperatura não deve ter descido tanto como nos Andes e provavelmente era de alguns poucos graus abaixo da atual. Entre 28.000 e 20.000 anos radiocarbônicos Antes do Presente (AP), durante o último máximo glacial (LGM), os Andes eram muito frios e secos, com temperaturas de 7° a 9° C abaixo das médias atuais. Entretanto, nos cerrados, o clima ainda que fosse frio, manteve a umidade da fase anterior e as análises mostram que o pólen arbóreo é abundante nessa época, indicando que havia mais árvores que no presente.

Durante essa fase úmida e fria os conjuntos de palinomorfos mostram pólen arbóreo do cerrado (*Byrsonima*, *Neea*, *Andira*, *Cassia*, *Stryphnodendron* e outras Leguminosas, Melastomatáceas, Combretáceas, Mirtáceas e Palmeiras de savana) e cerca de 40 a 60% de pólen de Gramíneas. Junto com eles encontra-se pólen arbóreo de matas (*Rapanea*, *Hedyosmum*, *Ilex*, *Celtis*, *Salacia*, *Symplocos*, *Podocarpus*, Moraceae, Cunoniaceae e outros) que indicam a

presença de matas com muitos elementos de clima mais frio, junto às lagoas e pântanos, sugerindo matas de galeria. A presença de partículas de carvão vegetal há mais de 36.000 AP em todas as localidades estudadas de Cerrado indica a presença de queimadas.

Esses resultados mostram que o ecossistema do Cerrado estava presente no Brasil Central a mais de 36.000 anos AP e continua até o presente. Como os

indígenas brasileiros começaram a povoar a região por volta de 10.000 AP e os assentamentos aumentaram somente depois de 5.000 AP (Prous, 1992; Schmitz *et al.*, 1997; Barbosa e Schmitz, 1998), este ecossistema não foi originado pela queima de florestas sendo, portanto, uma vegetação natural. Entretanto, os conjuntos de palinórfos indicam que as comunidades de plantas desta fase fria e úmida tinham uma composição diferente das atuais e uma



**Figura 1** Cronologia das mudanças do clima durante os últimos 36 mil anos. À esquerda, seqüência das mudanças nos altos Andes tropicais. No centro, mudanças do clima em sete áreas de cerrado. À direita, mudanças em duas áreas de mata dentro da região de cerrados. Modificado de Salgado-Labouriau (1997).

freqüência alta de árvores de clima mais frio como *Podocarpus*, *Hedyosmum*, *Ilex*, *Symplocos* e Cunoniaceae. Porém, como a identificação palinológica é geralmente limitada ao nível de gênero fica difícil, atualmente, quantificar as diferenças entre as comunidades florestais modernas e as do Pleistoceno Tardio.

Durante o LGM (último máximo glacial) a palmeira *Mauritia* (buriti), característica das veredas, buritizais e “morichales” da região dos cerrados e de outras savanas do norte da América do Sul está ausente do registro palinológico da região dos cerrados apoiando a idéia de que o clima era mais frio que o presente. O limite mais ao sul no qual esta palmeira ocorre é em veredas e buritizais nas partes oeste e norte do Brasil Central, até aproximadamente a 18° S. O buriti não ocorre nas regiões de cerrados mais ao sul, onde a estação seca (inverno) é mais fria. A ausência de *Mauritia* no final do Pleistoceno e no início do Holoceno colaborou para a conclusão de que o clima na região dos cerrados era mais frio que no presente.

As análises palinológicas de duas localidades de mata no Brasil Central, na região de Salitre, MG, nas lagoas de Serra Negra (de Oliveira, 1992) e de Salitre (Ledru, 1993; Ledru *et al.*, 1996) detectaram a presença de pólen de *Araucaria* junto com o pólen de árvores de mata no final do Pleistoceno (Figura 1). No presente, esta gimnosperma forma florestas fechadas do Paraná ao Rio Grande do Sul (Floresta de Araucária) e também ocorre como um elemento dentro da parte superior da Mata Atlântica na Serra do Mar, de São Paulo até o Espírito Santo. Sua presença em terras baixas do Brasil Central no final do Pleistoceno e início do Holoceno, como um elemento de mata, reforça o

fato de que a temperatura dos cerrados nessa época estava 3° a 4° C mais baixa que a atual.

Foi somente entre 22.000 e 18.000 AP, durante o final do Pleniglacial dos Andes tropicais, que a umidade começou a diminuir do norte para o sul nos cerrados. Na lagoa de Carajás (Absy *et al.*, 1991; Soubiès *et al.*, 1991) e na vereda de Águas Emendadas (Barberi *et al.*, 2000) a deposição orgânica cessou entre ~21.000-7.000 AP e foi substituída por uma fina camada de areia que sugere um hiato de sedimentação e a dessecação destes sítios. Em outras localidades de cerrado, como em Cromínia, a umidade diminuiu, mas ainda havia alguma para manter pequenos pântanos e campos (Salgado-Labouriau *et al.* 1998).

Por volta de 14.000 AP começou a deglaciação nos Andes e no resto do mundo. Portanto, mais água começou a ser liberada para a atmosfera e os continentes devido ao derretimento das geleiras. O nível do mar começou a subir. Entretanto, o cerrado e outros ecossistemas de savana continuaram sob um forte *stress* hídrico.

O máximo da fase seca ocorreu entre 14.000 e 10.500 AP (Salgado-Labouriau, 1997). O pântano no platô de Águas Emendadas e a lagoa na Serra dos Carajás secaram e provavelmente o topo destas montanhas desertificou. Nas savanas mais ao norte, na região do lago de Valência, Venezuela, a vegetação era semi-árida e o lago estava seco (hoje com 40m de profundidade); o local de perfuração era um pequeno pântano ou lagoa intermitente (Peeters, 1984; Bradbury *et al.*, 1981) e esta fase seca terminou à cerca de 10.000 AP. Estudos recentes nas savanas da Colômbia (Behling e Hooghiemstra, 1999) apresentam também essa fase seca, com pouca precipitação de chuvas no

Pleistoceno tardio e término à cerca de 10.690 AP.

O mesmo retardo na resposta do clima das savanas para entrar na fase seca foi encontrado para sair dela. Ela terminou por volta de 10.000 AP em Carajás, em Valência e nos Llanos colombianos. Entretanto, mais ao sul, nos cerrados do Brasil Central ela perdurou até cerca de 7.000 AP (Águas Emendadas, Cromínia, Lagoa Bonita, Lagoa dos Olhos e em Lagoa Santa). A fase relativamente menos seca começa com chuvas torrenciais, deslizamentos de terra e grandes depósitos aluviais em várias partes do Brasil Central (Salgado-Labouriau, 1997; Parizzi *et al.*, 1998).

Depois de 5.000 AP, lagos, pântanos e veredas começam a se formar nos cerrados do Brasil Central e o clima passa para semi-úmido com uma estação seca prolongada de três a cinco meses, segundo a localidade. Este tipo de clima continuou até o presente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises palinológicas em áreas de cerrados citadas aqui, bem como algumas análises geoquímicas ((Bradbury *et al.*, 1981; Soubiès *et al.*, 1991; Salgado-Labouriau *et al.* 1997), mostraram que a região das savanas da América do Sul e, mais especialmente, dos cerrados do Brasil Central, tinha um clima mais úmido e um pouco mais frio que o atual de cerca de > 36.000 AP até cerca de 21.000-22.000 AP. Houve uma mudança climática para um clima mais seco que o presente, em uma fase seca que durou de aproximadamente 20.000 até cerca de 10.000 AP no norte e até aproximadamente 7.000 AP no Brasil Central. O máximo da fase seca foi entre 14.000 e 10.000 AP.

Em todas as áreas tropicais já estudadas nas Américas houve um

abaixamento de temperatura, durante o LGM, da ordem de 4° a 5° C. Entretanto, a longa fase seca dos cerrados e savanas não ocorreu em outras áreas tropicais da América do Sul (Bush *et al.*, 2001, e referências citadas ali). Com toda a certeza não houve essa fase seca no final do Pleistoceno nos Andes tropicais (páramos e superpáramos (veja, por exemplo, van der Hammen, 1974; Salgado-Labouriau, 1997). Nem ocorreu nas áreas florestais da Amazônia ocidental (Colinvaux *et al.*, 1996, 2000). O estudo palinológico de dunas fósseis das caatingas do médio rio São Francisco também mostra um clima mais úmido que o presente no início do Holoceno (de Oliveira *et al.*, 1999). Porém, o clima no lago do Pires (Behling, 1995) na faixa altitudinal de mata da Serra do Espinhaço, MG, era mais seco que o atual de 9.700 a 5.500 AP.

Estes resultados, ainda que preliminares porque a América do Sul tropical tem uma área muito grande e falta muito ainda para ser feito, sugerem que as mudanças de temperatura são de caráter global ao passo que as oscilações e mudanças de umidade e precipitação são de caráter regional.

A seqüência de uma fase úmida e fria durante o LGM, seguida de uma fase seca e fria durante a deglaciação, e seguida de uma longa fase seca e quente no começo do Holoceno, sugere que esta seqüência foi repetida a cada ciclo glacial do Quaternário. Portanto, durante 1,6 milhões de anos (e mais de 16 glaciações) o cerrado e as comunidades vegetais adjuntas a ele (campos, matas, etc.) mudaram em área e composição em um equilíbrio dinâmico com as mudanças no clima.

Na reconstrução da vegetação no Brasil tropical, alguns antropólogos e

zoólogos colocam a distribuição das áreas de cerrado durante a fase seca no topo das montanhas, chapadas e platôs, e colocam as áreas de vegetação semi-árida, do tipo da caatinga, nos vales e terras baixas entre montanhas. As análises palinológicas nas localidades dentro do ecossistema cerrado, conforme demonstrado aqui, mostraram que é o inverso. O topo dos platôs e chapadas eram muito secos, com uma vegetação rala, e a deposição de matéria orgânica foi substituída por areia nos depósitos. No início do Holoceno, os cerrados e savanas só existiam nas depressões e vales onde era possível manter um pouco de umidade.

A antiga hipótese de que a vegetação dos cerrados é uma formação vegetal

secundária resultante do corte e queima das florestas pelo homem está hoje comprovadamente incorreta. O registro palinológico mostra que o cerrado é uma vegetação resiliente que tem sido queimada freqüentemente durante pelo menos 40.000 anos. O homem aumentou a freqüência das queimadas nestas últimas décadas e está pondo em perigo este ecossistema.

## AGRADECIMENTOS

A autora deseja agradecer ao *Institute pour le Recherche et Development* (IRD), França e à Universidade de Brasília (UnB) pelo apoio às suas pesquisas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Absy, M.L., A. Cleef, M. Fournier, L. Martin, M. Servant, A. Sifeddine, M.F. Silva, F. Soubiès, K. Suguio, B. Turcq, and T. van der Hammen, 1991. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60.000 dernières années. Première comparaison avec s'autres régions tropicales. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312, série II: 673-678.
- Barberi, M. 2001. *Mudanças paleoambientais na região dos cerrados do Planalto Central durante o Quaternário Tardio: o estudo da lagoa Bonita*. DF. Doctor Degree thesis, University of São Paulo, 210 p.
- \_\_\_\_\_, M.L. Salgado-Labouriau & Suguio, K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", DF, Central Brazil. *Journal South American Earth Sciences*, 13: 241-254.
- Barbosa, A. e P. I. Schmitz, 1998. Ocupação indígena no Cerrado. In: Sano and Almeida (editors) *Cerrado: ambiente e flora*. Edições Embrapa, Planaltina, DF, p. 75-108.
- Behling, H. 1995. A high resolution Holocene pollen record from lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. *Journal of Paleolimnology*, 14: 253-268.
- \_\_\_\_\_, e H. Hooghiemstra, 1999. Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. *J. Paleolimnology*, 21: 461-476.
- Beard, J.S. 1953. *Ecological Monographs*, 23, 149-215.
- Bradbury, J.P., B. Leyden, M.L. Salgado-Labouriau, W.M., Lewis Jr., C. Schubert, M.W., M. W. Benford, D. G. Frey, D. R. Whitehead & F. H. Weibezahn, 1981. Late Quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela. *Science* 214:1299-1305.

- Bush, M.B., M. Stute, & outros, 2001. Paleotemperature estimates for the lowland Americas between 30° S and 30° N at the Last Glacial Maximum. In: V. Markgraf (ed.) *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, San Diego, p. 293-306.
- Clapperton, C.M. 1993. Nature of environmental changes in South America at the Last Glacial Maximum. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 101: 189-208.
- Colinvaux, P.A., P. E. de Oliveira, J.E. Moreno, M.C. Miller, & M. B. Bush, 1996. A long pollen record from lowland Amazonia: forest cooling in the glacial times. *Science*, 274: 85-88.
- \_\_\_\_\_, P.E. de Oliveira & Bush, M.B. 2000. Amazonian and neotropical plant communities on the glacial time-scale: the Failure of the aridity and refuge hypothesis. *Quaternary Science Reviews*, 19: 141-169.
- de Oliveira, P.E. 1992. *A palynological record of Late Quaternary Vegetational and climatic change in Southeastern Brazil*. Doctor degree thesis, Ohio State University, 242 p.
- \_\_\_\_\_, A.M.F. Barreto, & K. Suguio, 1999. *Late Pleistocene/Holocene climatic history of the Brazilian Caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River*. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 145: 319-337.
- Ferraz-Vicentini, K.R. 1999. *História do fogo no Cerrado: uma análise palinológica*. Doctor degree thesis, University of Brasília.
- \_\_\_\_\_ and M.L. Salgado-Labouriau, 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *J. South Amer. Earth Sciences*, 9 (n.3/4): 207-219.
- Ferri, M.G. (editor) 1971. *III Simpósio sobre o Cerrado*. Editora Edgard Blücher/USP, São Paulo, 239 p.
- Hartenrath, S. 1979. Clima y sistemas glaciales tropicales. In: M.L. Salgado-Labouriau (ed.) *El medio ambiente Páramo*, Ediciones CEA/IVIC/UNESCO, Caracas, p.47-54.
- Hooghiemstra, H. 1984. Vegetational and Climatic History of the High Plain of Bogotá, Colombia: a continuous record of the last 3.5 million Years. *Dissertationes Botanicae*. J. Cramer, Valduz, 368 pp + 2 diagramas.
- Joly, A.B. 1979. *Botânica - Introdução à Taxonomia Vegetal*. Companhia Editora Nacional, 5ª edition, São Paulo, 777 p.
- Kuhry, P. 1988. Palaeobotanical-palaeoecological studies of tropical high Andean peat-bog sections (Cordillera Oriental, Colombia). *Dissertationes Botanicae*, vol. 116. J. Cramer, Berlin, 241 p.
- Labouriau, L.G. (editor) 1966. Segundo Simpósio sobre o Cerrado. *An. Acad. Brasil. Sci.*, 38 (suplemento), 346 p.
- \_\_\_\_\_. 1966. Revisão da situação da Ecologia vegetal nos Cerrados. In: L.G. Labouriau (editor) *Segundo Simpósio sobre os Cerrados*. Na Acad. Brasil. Cienc., 38 (suplemento): 5-38.
- Ledru, M.P. 1993. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research*, 39: 90-98.
- \_\_\_\_\_, P.I.S. Braga, F. Soubiès, M. Fournier, L. Martin, K. Suguio & B. Turcq, 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 123: 239-257.
- Mendonça, R.C., J.M. Felfili, B. M. T. Walter, M.C. Silva junior, A. V. Resende, T. S. Filgueiras & P. E. Nogueira, 1998. Flora vascular do Cerrado. In S.M. Sano e S.P. Almeida (editores) *Cerrado: ambiente e flora*. Edições Embrapa, Planaltina, DF, 556 p.
- Parizzi, M.G., M. L. Salgado-Labouriau, & C. Koehler, 1998. Genesis and environmental history of lagoa Santa, SE Brazil. *The Holocene*, 8, 3: 311-321.

- Peeters, L. 1984. Late Quaternary climatic changes in the basin of Lake Valencia, Venezuela, and their significance for regional paleoclimates. In: J.C. Vogel (ed.) *Late Cainozoic Palaeoclimates of the Southern Hemisphere*, Balkema, Rotterdam, 123-130.
- Pereira, B.A.S., R.C. de Mendonça, T.S., Filgueiras, J.E. de Paula & E. P. Heringer, 1990. Levantamento florístico da área de proteção ambiental (APA) da bacia do rio São Bartolomeu, Distrito Federal. *Anais Congresso Brasileiro de Botânica do Brasil*, Curitiba, 1985, vol.1, IBAMA, p. 419-490.
- Prous, A. 1992. *Arqueologia brasileira*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 605 pp.
- Rawitscher, F. 1949. Balance de agua de la vegetación de los Campos Cerrados del Brasil Meridional y su significado para la ecología de la región. *Ciencia y Investigación* (Buenos Aires), 5 (3/4): 107-116, 140-147
- Salgado-Labouriau. M.L. 1980. A pollen diagram of the Pleistocene-Holocene boundary of Lake Valencia, Venezuela. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 30:297-312.
- \_\_\_\_\_. 1982. Climatic change at the Pleistocene-Holocene boundary. In: G.T. Prance (ed.) *Biological diversity in the tropics*, Columbia University Press, New York, p. 74-77.
- \_\_\_\_\_. 1997. Late Quaternary palaeoclimate in the savannas of South America. *J. Quaternary Science*, 12 (5): 371-379.
- \_\_\_\_\_, M. Barberi, K. R. Ferraz-Vicentini, & M. G. Parizzi, 1998. A dry climatic event during the Late Quaternary of Tropical Brazil. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 99 (2): 115-129.
- \_\_\_\_\_, V. Caseti, K. R. Ferraz-Vicentini, L. Martin, F. Soubiès, K. Suguio & B. Turcq, 1997. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Cerrado and palm swamp from central Brazil. *Palaeogeog. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 128: 215-226.
- \_\_\_\_\_ and K. R. Ferraz-Vicentini, 1994. Fire in the Cerrado 32.000 years ago. *Curr. Res. Pleist.* 11:85-87.
- Sano, S.M. and S. P. Almeida, (editores) 1998. *Cerrado: ambiente e flora*. Edições Embrapa, Planaltina, DF, 556 p.
- Schmitz, P.I., P. A. Silva, M. V. Beber, 1997. *Arqueologia nos Cerrados do Brasil Central*. Serranópolis II. Publicações Avulsas, n. 11, Instituto Anchieta de Pesquisas, UNISINOS, São Leopoldo, 65 p.
- Schnee, L. 1973. *Plantas comunes de Venezuela*. Editora Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela, 822 p.
- Schubert, C. & C. M. Clapperton, 1990. Quaternary glaciations in the northern Andes (Venezuela, Colombia and Ecuador). *Quaternary Science Rev.*, 9: 123-135.
- Soubiès, F., K. Suguio, L. Martin, J. C. Leprun, M. Servant, B. Turcq, M. Fournier, M. Delaune, & A. Sifeddine, 1991. The Quaternary lacustrine deposits of the Serra dos Carajás (State of Pará, Brazil). *Boletim IG-USP*, publicação especial, vol. 8: 223-243.
- van der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *J. Biogeogr.*, 1: 3-26.
- Warming, F. 1908. *Lagoa Santa - Contribuição para a Geographia Phytobiologica*. Tradução para o português por A. Loefgren. Imprensa Official do Estado de Minas Geraes, Belo Horizonte, 284 p.