

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura da comunidade de lenhosas da vegetação do cerrado *sensu stricto*

Margarete Naomi Sato

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor, junto ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, do Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília.

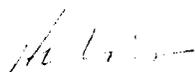
Brasília, abril de 2003

MARGARETE NAOMI SATO

Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura da comunidade
de lenhosas da vegetação do cerrado *sensu stricto*

Tese aprovada junto ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ecologia, sob a orientação da Professora Heloisa Sinátora Miranda, com suporte financeiro da Coordenação de Apoio ao Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Banca Examinadora:



Prof. Dra. Heloisa Sinátora Miranda
Orientadora - UnB



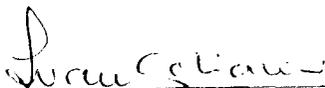
Prof. Dr. Bráulio Ferreira de Souza Dias
Membro Titular - UnB



Prof. Dr. Carlos Augusto Klink
Membro Titular - UnB



Dra. Maria Lúcia Meirelles
Membro Titular Externo - EMBRAPA-Cerrados



Prof. Dr. Ivan Schiavini da Silva
Membro Titular Externo - UFU

Brasília, abril de 2003

Índice

	Página
Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice de figuras	iv
Índice de tabelas	vi
Introdução	1
Cerrado	1
Objetivo	9
Material e métodos	10
Área de estudo	10
Queimadas prescritas	11
Inventário da vegetação	12
Estimativa da biomassa	16
Biomassa do estrato herbáceo	16
Biomassa do estrato arbóreo-arbustivo	17
Resultados e discussão	19
Inventário da vegetação antes da realização da primeira queima prescrita	19
Taxa de mortalidade	25
Queimadas no final de junho - precoce	25
Queimadas no início de agosto - modal	35
Queimadas no final da seca/início das chuvas - tardia	44
Parcelas experimentais: precoce, modal e tardia	52
Estimativa de biomassa	63
Redução no estoque de carbono	68
Conclusões	72
Referências bibliográficas	74

Agradecimentos

Agradeço a todos que participaram desta etapa da minha vida.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia: Heloisa, Haridasan, Gláucia, Anastácio, Mara, Rocha, Antonio, Saulo, Walter, Jair, Alexandre, Beto, Bia.

Aos professores do Departamento de Ecologia.

À coordenação de Pós-graduação em Ecologia: Helena, Fabiana e Hugo.

À Reserva Ecológica do IBGE: Maria Iracema Gonzales e Brigada de Combate a Incêndios do IBGE.

Ao Serviço Florestal dos Estados Unidos do Departamento de Agricultura

À minha família: Yoshimi, Naomi, Harumi, Kiyomi, Luiza, Yuji, Rivani, Yumi e Yútian.

Resumo

O presente estudo foi realizado na Reserva Ecológica do IBGE (35 km de Brasília) com o objetivo de determinar os impactos de diferentes regimes de queima (época de ocorrência do fogo) na estrutura da vegetação lenhosa de cerrado *sensu stricto*, protegida contra o fogo por 18 anos e submetida a cinco queimadas bienais prescritas no final de junho (precoce), em meados de agosto (modal) e no final de setembro (tardia). Foram selecionadas três parcelas experimentais, com 10 ha (500 m x 200 m) cada e demarcadas áreas amostrais permanentes de 50 m x 20 m para a realização do inventário da vegetação do estrato arbóreo-arbustivo. Nestas áreas, todos os indivíduos com diâmetro, a 30 cm do solo, igual ou superior a 5 cm foram marcados e inventariados quanto à espécie, à altura e ao diâmetro a 30 cm do solo. Após cada queimada, foram inventariados todos os indivíduos marcados, mensurando a altura e o diâmetro, a 30 cm do solo, bem como o dano sofrido: dano parcial com rebrota aérea; ou com rebrota basal e/ou subterrânea (*top kill*) e dano total com morte do indivíduo. Antes da primeira queimada, foram inventariados 1114 indivíduos vivos na parcela precoce, 1144 indivíduos na parcela modal e 1031 indivíduos na tardia, sendo 63 indivíduos mortos na parcela precoce, 61 na modal e 52 na tardia. Após as cinco queimadas, a parcela precoce apresentou 683 indivíduos vivos e 49 mortos, a parcela modal 629 indivíduos vivos e 67 mortos e a parcela submetida a queimadas em setembro 580 indivíduos vivos e 72 mortos, resultando na mortalidade acumulada de $\approx 39\%$, 45% e $\approx 44\%$, nas parcelas precoce, modal e tardia, respectivamente. As cinco queimadas bienais resultaram na taxa de caules destruídos (*top kill* + mortos) de 44% dos fustes presentes inicialmente na área precoce, de $\approx 59\%$ na área modal e de 75% na área tardia. Porém, houve recrutamento de indivíduos nas três parcelas, 240 indivíduos distribuídos em 38 espécies foram recrutados na parcela precoce; 74 indivíduos (19 espécies) na parcela modal e 30 indivíduos (13 espécies) na parcela tardia. Antes das queimadas, um total de 26,5 t/ha de biomassa aérea foi estimado para a parcela precoce, 25,7 t/ha na modal e 25,6 t/ha na tardia, sendo que a biomassa do estrato lenhoso contribuiu com 58% , 66% e 75% deste total. A biomassa total, nas áreas experimentais após cinco queimadas, foi de 22,2 t/ha para a parcela precoce, 17,5 t/ha para a modal e de 17,2 t/ha para a tardia. Resultando em uma redução no total da biomassa aérea de cerca de $16,0\%$ na parcela precoce, $32,0\%$ na modal e $33,0\%$ na tardia. Antes das queimadas prescritas, o estoque de carbono era cerca de 11 t C/ha em cada parcela, sendo que 6,9 t C/ha, 7,6 t C/ha e 8,6 t C/ha estavam armazenados na biomassa do estrato arbóreo-arbustivo. Após cinco queimadas prescritas houve redução de 1,8 t/ha no estoque de carbono na parcela precoce, 3,8 t/ha na modal e 4,1 t/ha na tardia, sendo que na parcela precoce cerca de 67% desta redução foram provenientes do estrato herbáceo e 33% do arbóreo; na parcela modal, $\approx 79,0\%$ foram da vegetação do estrato lenhoso e apenas $\approx 21,0\%$ do herbáceo, enquanto que na parcela tardia, houve redução de 4,7 t C/ha da vegetação lenhosa e foram adicionadas 0,6 t C/ha do estrato herbáceo. Os dados mostram que a frequência bianual e a época de queima resultam em dano diferenciado na estrutura da comunidade lenhosa de cerrado *sensu stricto*, sugerindo que a manutenção do sistema com o uso de queimadas no início da estação seca como instrumento de manejo é o mais indicado, pois é o padrão mais próximo da ocorrência natural de queimadas na região do cerrado.

Abstract

The work was carried out at the Reserva Ecológica do IBGE (35 km south of Brasília) to investigate the effects of different fire regimes on the structure of the woody vegetation of the cerrado *sensu stricto*. The experimental plots were protected from fire for 18 years and submitted to prescribed fires every two years since 1992 at the beginning (June), middle (August) and end (September) of the dry season. Three plots of 10 ha (500 m x 200 m) were selected. Inside each plot five 50 m x 20 m subplots were marked for permanent inventory. All woody individuals with diameter equal or greater than 5 cm at 30 cm from the soil surface were included in the inventory. After each fire, all the tagged trees were inventoried and the damage recorded. The damage was classified as partial, presenting aerial resprout or with top kill, or total, with the death of the tree or shrub. Before the prescribed fires of 1992, there were 1114, 1144 and 1031 live individuals and 63, 61 and 52 dead individuals in the early, mid and late dry season. After the five fires, in 2002, there were 683, 629 and 580 live individuals and 49, 67 and 72 dead individuals, resulting in a mortality of 39%, 45% and 44%. Considering the mortality and top kill, the reduction in the number of stems was 44%, 59% and 75%. Although the percentage of dead individuals was high, 240 new individuals belonging to 38 species were added, after the five prescribed fires, to the inventory in the early dry season plot, 74 (19 species) in the August area and 30 individuals (13 species) in the September area. The total aboveground biomass before the fires there was estimated to be 26,5 t/ha in the June area, 25,7 t/ha and 25,6 t/ha in the August and September areas. The woody vegetation contributed with 58%, 66% and 75% of the total aboveground biomass. After the fires, in 2002, the total aboveground biomass was reduced to 22,2 t/ha in the June area, 17,5 t/ha and 17,2 t/ha in the August and September plots representing a reduction of 16%, 32% and 33%. The average carbon stock was 11 t C/ha with 6,9 t C/ha, 7,6 t C/ha e 8,6 t C/ha stocked in the woody vegetation in the June, August and September areas. After the fires a reduction of 1,8 t/ha in the carbon stock was estimated for the June area, 3,8 t C/ha and 4,1 t C/ha in the August and September areas. In the June area the woody vegetation contributed with 33% of the carbon loss and 75% in the August area. In the September area there was a loss of 4,7 t C/ha from the woody vegetation and an increase of 0,6 t C/ha in the carbon stock of the herbaceous vegetation. Thus the effects of biennial fires on the structure of the woody vegetation of the cerrado *sensu stricto* depend on the time when it occurs during the dry season. The less damaging prescribed fires were the ones at the beginning of the dry season, when natural fires are common in this region.

Índice de figuras

- Figura 1.** Mapa da localização da Reserva Ecológica do IBGE, em Brasília (DF) e das parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* submetidas a queimadas prescritas bienais em junho (no início da estação seca ou precoce), em agosto (no meio da estação seca ou modal) e em setembro (no final da estação seca ou tardia). 11
- Figura 2.** Tipos de rebrota para plantas do cerrado, a) dano parcial com rebrota aérea; b) dano parcial com rebrota basal e c) dano parcial com rebrota subterrânea. 14
- Figura 3.** Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo em três parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* a serem submetidas a queimadas prescritas no final de junho (precoce), início de agosto (modal) e final de setembro (tardia) de 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. As áreas estavam protegidas contra queima por 18 anos. 24
- Figura 4.** Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo e que sofreram mortalidade, presente na parcela experimental de cerrado *sensu stricto* submetida a cinco queimadas prescritas no final de junho (precoce), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 29
- Figura 5.** Distribuição de altura (a) e do diâmetro, a 30 cm do solo (b) dos 240 indivíduos recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto* após a realização de cinco queimadas bienais no final de junho, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 32
- Figura 6.** Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo após cinco queimadas prescritas no final de junho (precoce) na parcela experimental de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 34
- Figura 7.** Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo que sofreram mortalidade, presente na parcela experimental de cerrado *sensu stricto* submetida a cinco queimadas prescritas no início de agosto (modal), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 39
- Figura 8.** Distribuição de altura (a) e do diâmetro, a 30 cm do solo (b) dos 74 indivíduos recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto* após a realização de cinco queimadas bienais no início de agosto (modal), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 42
- Figura 9.** Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo após cinco queimadas prescritas no início de agosto (modal) na parcela experimental de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 43
- Figura 10.** Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo e que sofreram mortalidade, presente na parcela experimental de cerrado *sensu stricto* submetida a cinco queimadas prescritas no final de setembro (tardia), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 47

Figura 11. Distribuição de altura (a) e do diâmetro, a 30 cm do solo (b) dos 30 indivíduos recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto* após a realização de cinco queimadas bienais no final de setembro (tardia), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 50

Figura 12. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo após cinco queimadas prescritas no final de setembro (tardia) na parcela experimental de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 51

Figura 13. Composição da biomassa do estrato herbáceo em áreas de cerrado *sensu stricto* protegidas de queima por 18 anos. As áreas seriam submetidas a queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados). 65

Figura 14. Composição da biomassa do estrato herbáceo em áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a cinco queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados). 67

Índice de tabelas

- Tabela 1.** Inventários da vegetação arbóreo-arbustiva em três parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* a serem submetidas a queimadas prescritas no final de junho (precoce), início de agosto (modal) e final de setembro (tardia) de 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. As áreas estavam protegidas contra queima por 18 anos. 19
- Tabela 2.** Número de indivíduos das espécies do estrato arbóreo-arbustivo presente em 0,5 ha das três parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* a serem submetidas a queimadas prescritas no final de junho (precoce), início de agosto (modal) e final de setembro (tardia) de 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. As áreas estavam protegidas contra queima por 18 anos. 21
- Tabela 3.** Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no final de junho de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992. 26
- Tabela 4.** Variação de altura e diâmetro das espécies que sofreram mortalidade em 100% de seus indivíduos após cinco queimadas bienais realizadas no final de junho em área de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 28
- Tabela 5.** Indivíduos que sofreram mortalidade pela queimada prescrita do ano em questão e que apresentavam *top kill* ou rebrota aérea (Aa) no inventário anterior, na parcela submetida a queima prescrita precoce (junho), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 30
- Tabela 6.** Lista das 38 espécies lenhosas (240 indivíduos) recrutadas no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto*, após cinco queimadas prescritas bienais realizadas no final de junho, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 31
- Tabela 7.** Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no início de agosto de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000 na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992. 36
- Tabela 8.** Variação de altura e diâmetro das espécies que sofreram mortalidade em 100% de seus indivíduos após cinco queimadas bianuais modais prescritas realizadas na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 38
- Tabela 9.** Indivíduos que sofreram mortalidade pela queimada prescrita do ano em questão e que apresentavam *top kill* ou rebrota aérea (Aa) no inventário anterior, na parcela submetida a queima prescrita modal (agosto) na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 40

- Tabela 10.** Lista das 19 espécies lenhosas (74 indivíduos) recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto*, após cinco queimadas prescritas bienais realizadas no início de agosto, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 41
- Tabela 11.** Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no final de setembro de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000 na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992. 45
- Tabela 12.** Indivíduos que sofreram mortalidade pela queimada prescrita do ano em questão e que apresentavam *top kill* ou rebrota aérea (Aa) no inventário anterior, na parcela submetida a queima prescrita tardia (setembro) na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 48
- Tabela 13.** Lista das espécies lenhosas recrutadas no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto*, após cinco queimadas prescritas bienais realizadas no final de setembro, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 49
- Tabela 14.** Comportamento do fogo para queimadas prescritas realizadas no início da estação seca (junho), em área de cerrado *sensu stricto* na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados). 59
- Tabela 15.** Comportamento do fogo para queimadas prescritas realizadas no meio da estação seca (agosto), em área de cerrado *sensu stricto* na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados). 60
- Tabela 16.** Comportamento do fogo para queimadas prescritas realizadas no final da estação seca (setembro), em área de cerrado *sensu stricto* na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados). 60
- Tabela 17.** Danos sofridos pela vegetação lenhosa de áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a cinco queimadas bienais no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca. Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 62
- Tabela 18.** Biomassa aérea da vegetação lenhosa em áreas de cerrado *sensu stricto* em parcelas a serem submetidas a queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final da estação seca (tardia), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 64
- Tabela 19.** Biomassa aérea da vegetação lenhosa em áreas de cerrado *sensu stricto* em parcelas submetidas a cinco queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final da estação seca (tardia) desde 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 66
- Tabela 20.** Estoque de carbono em áreas de cerrado *sensu stricto* antes (1990) e após (2000) serem submetidas a cinco queimadas bienais prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. 68

Introdução

O termo savana é utilizado de diversas maneiras, porém podemos dividi-lo em dois grupos: 1) considera um tipo particular de fisionomia ou estrutura aplicável a qualquer tipo de vegetação, apresentando qualquer composição florística e em qualquer condição climática e de substrato e, 2) utiliza o termo para determinar um tipo particular de vegetação, neste caso, não somente a fisionomia é considerada, mas também os fatores ecológicos do habitat e freqüentemente a composição florística. A fisionomia engloba: estrutura (altura e densidade das plantas das diversas camadas), formas de crescimento do estrato dominante, caducifolia da camada lenhosa e sazonalidade vegetativa da camada rasteira. Fatores ecológicos incluem clima, substrato, bem como, respostas das plantas a estes fatores como formas de vida C_3 e C_4 , relações das raízes com o substrato, nutrição mineral, balanço hídrico, etc (Eiten 1986).

Dentre os fatores determinantes de savanas, o fogo é importante para a manutenção deste ecossistema (Frost & Robertson 1987). O fogo influencia a estrutura, a composição, o desenvolvimento e a dinâmica de vários ecossistemas; porém, ao mesmo tempo é influenciado, via seu comportamento, principalmente pelas características das comunidades vegetais (Whelan 1995).

Diferenças na tolerância ao calor têm sido atribuídas às características como: espessura da casca, composição, conteúdo químico, etc (Plumb 1980). A idade da planta, também, influencia a resistência ao dano pelo fogo; de forma geral, indivíduos jovens são mais suscetíveis à morte da parte aérea (*top kill*) e morte do indivíduo do que os adultos. A composição da casca (densidade, espessura) também muda com a idade, podendo aumentar ou reduzir a suscetibilidade da planta ao fogo. As raízes, de forma geral, estão protegidas por uma casca corticosa e pela camada solo; portanto, sofrem pouco dano pelo calor, exceto

nos casos de fogo subterrâneo ou com velocidade de propagação extremamente lenta. Portanto, de forma geral as plantas sobrevivem ao fogo por grande variedade de formas: casca espessa isoladora, sistemas subterrâneos com gemas dormentes, frutos duros que isolam as sementes e sementes duras que se alojam no solo e germinam após o fogo. Cada espécie apresenta estratégias distintas para sua sobrevivência, sendo que, é comum encontrar a combinação de diferentes estratégias em uma espécie (Trabaud 1987).

As respostas das plantas ao evento de fogo, essas dependem do ciclo de vida das espécies, do regime de fogo (frequência e estação do ano) ao qual são submetidas e do micro-ambiente pós-fogo (Trabaud 1987). Segundo Spurr & Barnes (1992) e Chandler *et al.* (1983), pode ocorrer a rápida recolonização pós-fogo com produção antecipada de sementes, sementes leves (geralmente anemocóricas) ou frutos duros (cones serotinosos), sementes não dormentes e germinação induzida pelo calor; rápido crescimento das formas juvenis; proteção das gemas meristemáticas e recuperação de danos pós-fogo pela indução do brotamento, a partir de várias partes da planta, como estruturas subterrâneas, caule e copa.

Segundo Rutherford (1981) e Frost (1985), a mortalidade induzida pelo fogo nas populações de plantas savânicas é geralmente muito baixa (0 a 10%). Exceções ocorrem em comunidades que sofrem queimas em intervalos infreqüentes, ou quando a queima ocorre em condições climáticas excepcionalmente adversas ou durante o período em que as plantas encontram-se fisiologicamente ativas (Trollope 1984).

Apesar do fogo ser evento freqüente e antigo, alguns estudos mostram que a proteção contra a ocorrência do fogo em uma área resulta em incremento da densidade arbórea, particularmente das espécies sensíveis ao fogo, favorecendo o estabelecimento de arvoredo em muitas áreas de savanas, até o desenvolvimento de florestas em áreas de

transição de savanas para florestas (Trapnell 1959; Eiten 1972; San Jose & Farinas 1983; Frost & Robertson 1987; Moreira 2000).

A manutenção da integridade ecológica do sistema é o ponto principal da conservação dos recursos naturais. Para esta finalidade, os cientistas fazem uso dos indicadores ecológicos para monitorar, avaliar e manejar os recursos naturais. A dificuldade está em selecionar quais são os indicadores apropriados devido à complexidade dos sistemas ecológicos. Sendo, portanto, necessário utilizar um conjunto representativo de indicadores da estrutura, função e composição destes sistemas. A integração dos indicadores ecológicos com os objetivos econômicos e sociais para manejo dos recursos naturais é ainda um grande desafio (Dale & Beyeler 2001).

O Cerrado

A localização geográfica dos grandes biomas do Brasil é condicionada, predominantemente, pelos fatores climáticos, como a temperatura, a precipitação, a umidade relativa e pelo tipo de substrato. O Cerrado está localizado no Planalto Central do Brasil e ocupa cerca de 23% da área do território nacional (Ribeiro & Walter 1998). O tipo de solo mais comum na sua área core, que ocorre nos platôs e vales, quando a inclinação é menor que 8%, é o latossolo profundo e bem drenado, enquanto outros tipos de solos (areia quartzosa e podssolo) correspondem a cerca de 26% do total (Ribeiro & Walter 1998; Haridasan 2000).

O clima na região do Cerrado é tropical (segundo classificação de Koppen AW, mas CWA no limite sul). Na área core do Cerrado, a temperatura média anual varia de 18 °C a 26 °C, sendo que a amplitude diária, especialmente durante a estação seca (frio), pode ser maior que a variação sazonal e a ocorrência de geada é infreqüente ou ausente (Eiten 1994).

A precipitação média anual varia de 1100 a 1600 mm, com cerca de 90% da precipitação ocorrendo na estação chuvosa (outubro a abril), sendo que a máxima das máximas precipitações pluviais ocorre nos meses de dezembro e janeiro e, com menor frequência, nos meses de outubro e fevereiro (Assad *et al.* 1992). Entretanto, a ocorrência de veranicos, períodos de interrupção da precipitação que ocorrem durante a estação chuvosa, é típica nesta região que, conforme a localização, pode ocorrer com maior ou menor frequência e duração. No mês de janeiro pode-se observar veranicos com até 20 dias de duração, ou então dois ou mais com dez dias (Assad *et al.* 1993). A umidade relativa do ar é alta durante a estação chuvosa (média 68%) e pode ser muito baixa na estação seca (média de 25%, atingindo mínimo de 8%).

Relacionada a sazonalidade das chuvas na região do Cerrado, está a grande produção de biomassa da camada rasteira durante a estação chuvosa (Rosa 1990). Durante a época seca, em todas as fisionomias de cerrado, a vegetação da camada rasteira apresenta-se dessecada, presumivelmente devido à eficiência no uso da água. A camada gramínea é capaz de utilizar água somente da parte superior do solo enquanto a camada lenhosa, dependendo da disponibilidade de água, tanto pode utilizar água da parte superior como da parte mais profunda do solo (Rawitscher 1948; Goodland & Pollard 1973; Dunin *et al.* 1997; Jackson *et al.* 1999; Quesada *et al.* 2003). Esse dessecamento, durante a estação seca favorece a ocorrência de queimadas.

O fogo é um dos fatores determinantes da vegetação savânica sendo, para o Cerrado, considerado como o fator mais importante para a manutenção da diversidade fisionômica. Alguns estudos (Oliveira 1992; Vicentini 1993) indicam a ocorrência de queimadas na região do Cerrado datado de mais de 30000 anos, sendo provavelmente, nesse período, de origem natural. Estudos recentes realizados por Ramos Neto & Pivello

(2000), no Parque Nacional de Emas (GO), mostraram que a ocorrência de fogo natural originado por raios se deu de setembro a maio, isto é, final da estação seca e durante a estação chuvosa. Atualmente, as queimadas (pelos agricultores) são realizadas durante a estação seca, em intervalos de 2 a 4 anos, e têm como objetivo a abertura de terreno para o plantio de grãos ou o manejo de pastagens naturais (formas abertas de Cerrado) ou plantadas (Coutinho 1982, 1990).

Segundo Furley (1999), a vegetação savânica do Cerrado pode ser considerada pirofítica ou adaptada ao fogo, e apresenta várias características adaptativas como casca espessa, catáfilos e xilopódio (Eiten 1994; Rachid-Edwards 1956; Rawitscher & Rachid 1946) e valores elevados para a proporção entre biomassa de raízes e biomassa aérea (Castro & Kauffmann 1998; Abdala *et al.* 1998). Uma vez que a vegetação se apresenta tolerante ao fogo, bem como dependente deste, o comportamento reprodutivo de algumas espécies parece ser dependente das mudanças físicas ou químicas induzidas pelo fogo (Coutinho 1976, 1990; Braithwaite 1995). Por outro lado, alguns autores (Dias 1992; Moreira 2000) sugerem a necessidade da proteção contra o fogo para que espécies sensíveis possam se estabelecer e permitir que formas fisionômicas mais abertas tornem-se mais fechadas, por exemplo, o cerradão. Todavia, para Eiten (1972), cada forma fisionômica é uma vegetação clímax, isto é, o cerrado não é um estágio ou um disclímax de sucessão primária ou secundária a uma floresta ou a qualquer outro tipo de vegetação. Os estádios secundários e regressivos, devido a distúrbio humano, são partes do mesmo tipo vegetacional, uma vez que a maioria das espécies dos estádios secundários é a mesma daquele do estágio clímax.

Desde as primeiras expedições dos naturalistas ao Brasil Central, a ocorrência de queimadas na região dos cerrados tem sido reportada (Saint-Hilaire 1824; Warming 1908).

Todavia, foi apenas no início dos anos 70, nos Departamentos de Botânica e de Ecologia do Instituto de Biociências da USP, que foram realizados os primeiros estudos experimentais sobre os efeitos do fogo na vegetação e na ciclagem de nutrientes de um campo cerrado em Emas, Pirassununga, SP (ver Coutinho 1990 para revisão). No início dos anos 90, pesquisas sobre efeitos de longo prazo do fogo em comunidades de Cerrado passaram a ser realizadas na Reserva Ecológica do IBGE (Brasília, DF), com a participação de pesquisadores do IBGE, do Departamento de Ecologia e Engenharia Florestal da Universidade de Brasília e de pesquisadores de várias outras instituições do Brasil e do exterior (Miranda *et al.* 2002a, 2002b).

As pesquisas realizadas nas últimas três décadas abrangem efeitos abióticos e bióticos do fogo nas diferentes formas fisionômicas do Cerrado. Coutinho (1978), Kauffman *et al.* (1994) e Miranda *et al.* (1993, 1996) caracterizam as queimadas de Cerrado em termos de velocidade de propagação da frente de fogo, temperaturas do ar e do solo, intensidade da frente de fogo e consumo de combustível. Dias (1994) e Castro-Neves & Miranda (1996) apresentam as alterações no microclima do solo após a passagem do fogo. A ciclagem de nutrientes foi investigada por Cavalcanti (1978), Coutinho (1979), Batmanian (1983), Borgatto (1994), Pivello & Coutinho (1992), Kauffman *et al.* (1994) e Nardoto (2000) entre outros. Fluxos de CO₂ no solo, em áreas queimadas de Cerrado, foram determinados por Poth *et al.* (1995) e fluxos de CO₂ para a atmosfera foram determinados por Santos (1999) e Silva (1999) em áreas de campo sujo submetidas a diferentes regimes de queima.

Os impactos do fogo na vegetação do estrato herbáceo têm sido amplamente investigados. Em 1976, Coutinho apresentou os primeiros resultados sobre a floração do estrato herbáceo após a ocorrência de queimadas e mostrou que a remoção da parte aérea, e

não o calor, induz ao florescimento. Estes resultados foram posteriormente corroborados por César (1980) e Haddad & Valio (1993). O impacto do fogo na abertura de frutos e na dispersão de sementes foi reportado por Coutinho (1977). O aumento na produção primária foi investigado por Cavalcanti (1978), Meirelles (1981), Coutinho *et al.* (1982), Batmanian & Haridasan (1985), Andrade (1998) e Neto *et al.* (1998), mostrando que a remoção da necromassa acumulada ao longo de vários anos de proteção contra o fogo favorece a rebrota da vegetação. Rosa (1990) estudou a recuperação pós-fogo do estrato rasteiro de um campo sujo de cerrado, mostrando a seqüência de ocupação da área por diferentes famílias de plantas. Andrade (1998), em estudo sobre a dinâmica da vegetação do estrato herbáceo de áreas de campo sujo submetidas a diferentes regimes de queima, verificou que, em um ano, aproximadamente 70% do total de biomassa aérea existente antes da queima foram recuperados. Observou, também, que cerca de nove meses após a passagem do fogo, estação seca seguinte, a biomassa aérea morta (serapilheira + gramíneas mortas) representou cerca de 65% do total, indicando que, dependendo das condições climáticas ou da ocorrência de veranicos prolongados, as áreas estavam suscetíveis à nova queima.

O impacto do fogo nas gramíneas, elemento mais abundante do estrato herbáceo, tem sido pouco estudado. Parron & Hay (1997) e Miranda (1997) apresentaram resultados sobre a produção de sementes de gramíneas em áreas de campo sujo submetidas a diferentes regimes de queimas e Miranda (2002) analisou os efeitos de diferentes regimes de queima na diversidade de gramíneas em campo sujo.

Os estudos sobre os efeitos do fogo nas plantas lenhosas são menos abrangentes. A floração de lenhosas logo após a ocorrência de queimadas foi apresentada por Freitas (1998). Landim & Hay (1996), Hoffmann (1998) e Felfili *et al.* (1999) apresentaram informações sobre a produção de flores no período reprodutivo seguinte à ocorrência de

queimadas, e Silva *et al.* (1996), Hoffmann (1998) e Felfili *et al.* (1999) apresentaram informações sobre o sucesso reprodutivo pós-queima. Andrade (2002) investigou a alteração do banco de sementes do solo em áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a diferentes regimes de queima. A ocorrência de frutos tolerantes às altas temperaturas, durante a passagem da frente de fogo foi reportada por Coutinho (1977), Landim & Hay (1996) e Cirne (2002). A sobrevivência de plântulas e indivíduos jovens de várias espécies lenhosas do Cerrado foram investigadas por Oliveira & Silva (1993), Matos (1994), Braz *et al.* (2000) e Hoffmann (1996), que apresentaram valores mínimos de altura e/ou diâmetro para escape ao fogo. Guedes (1993) e Rocha e Silva & Miranda (1996) apresentaram informações sobre o efeito atenuador da casca para as altas temperaturas durante queimadas, para várias espécies lenhosas do cerrado, estabelecendo valores de espessura mínima para uma proteção efetiva.

A mortalidade de indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo do cerrado e a alteração na estrutura da comunidade têm sido investigadas para as diferentes formas fisionômicas. Souza & Soares (1983) apresentaram dados sobre mortalidade e rebrota em espécies arbustivas e arbóreas em um cerradão, após a passagem do fogo. Ramos (1990) investigou a alteração na estrutura da vegetação lenhosa de cerrado *sensu stricto* submetido à queima, e concluiu que o fogo alterou a estrutura e que a mortalidade causada pelo fogo em plantas estabelecidas foi um fenômeno raro. Sambuichi (1991) concluiu que houve acentuada redução na camada lenhosa sujeita a queima bianual, e redução na diversidade de espécies. Armando (1994) quantificou a mortalidade de indivíduos pequenos submetidos a queimadas anuais. O efeito de queimadas bienais, em diferentes épocas do ano, na mortalidade da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* foi apresentado por Sato (1996), Sato & Miranda (1996) e Sato *et al.* (1998). Para a vegetação de campo sujo, Silva

et al. (1996), Rocha e Silva (1999) e Medeiros (2002) encontraram valores similares de mortalidade para a vegetação submetida a regimes de queima bienal, quadrienal e anual, respectivamente.

Embora a bibliografia sobre os impactos do fogo na vegetação do Cerrado seja extensa (ver Coutinho 1990, Mistry 1998, Miranda *et al.* 2002a, 2002b para uma revisão mais ampla), o número de estudos de longa duração sobre os efeitos do fogo na vegetação do Cerrado, que apresentam a descrição das características da vegetação antes da ocorrência do fogo, que descrevam o regime de queima (frequência e época) na área de estudo ou o comportamento do fogo durante a queimada, são raros, tornando difícil a comparação entre resultados existentes na literatura.

Objetivo

Este trabalho teve como objetivo determinar impactos, de longo prazo, de diferentes regimes de queima, ou seja, queimadas bienais no início (junho), meio (agosto) e final (setembro) da estação seca, na estrutura da vegetação lenhosa de cerrado *sensu stricto*, quantificando a contribuição de dano permanente ou severo (morte do indivíduo), de danos moderados (*top kill* - morte da parte aérea com rebrota basal e/ou subterrânea) e, de danos leves (destruição parcial da parte aérea, morte de ramos, com rebrotas apenas na parte aérea), na alteração da composição e da estrutura da comunidade.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na Reserva Ecológica do IBGE (RECOR), localizada a 35 km ao sul de Brasília. A RECOR está inserida na Área de Proteção Ambiental Gama-Cabeça do Veado (10000 ha), situada a 1100 m de altitude, ocupa uma área de 1360 ha, nas coordenadas geográficas de 15° 56' 41" S e 47° 53' 07" W, e é uma das áreas núcleo da Reserva da Biosfera do Cerrado. O cerrado *lato sensu* que se apresenta sob as formas de campo sujo, campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e cerradão. A área experimental do Projeto Fogo foi inicialmente selecionada em função da sua homogeneidade topográfica e edáfica (baixa declividade e latossolo, tipologia edáfica predominante no bioma cerrado), por apresentar as formas fisionômicas mais comuns para o cerrado e por estar protegida do fogo por 18 anos, em 1992, quando iniciou os tratamentos de queimada prescrita (Figura 1).

A fisionomia em estudo é o cerrado *sensu stricto*, a forma mais comum de Cerrado no Brasil Central. Segundo Eiten (1979, 1994), a área apresenta a fisionomia de “arvoredo de escrube e árvores latifoliado”, onde arbustos que não estão cobertos pelas árvores compartilham a dominância visual com as mesmas. A cobertura do estrato lenhoso é aberta; a superfície da vegetação é ondulada ou colinosa. Neste tipo fisionômico as árvores com 3 m de altura representam entre 10% e 30% da cobertura vegetal e quase todas as árvores apresentam altura inferior a 12 m.

O estudo foi realizado em três parcelas experimentais, nas quais queimadas prescritas foram realizadas para determinar o impacto do regime de queima nas taxas de mortalidade de espécies lenhosas do cerrado (Figura 1).

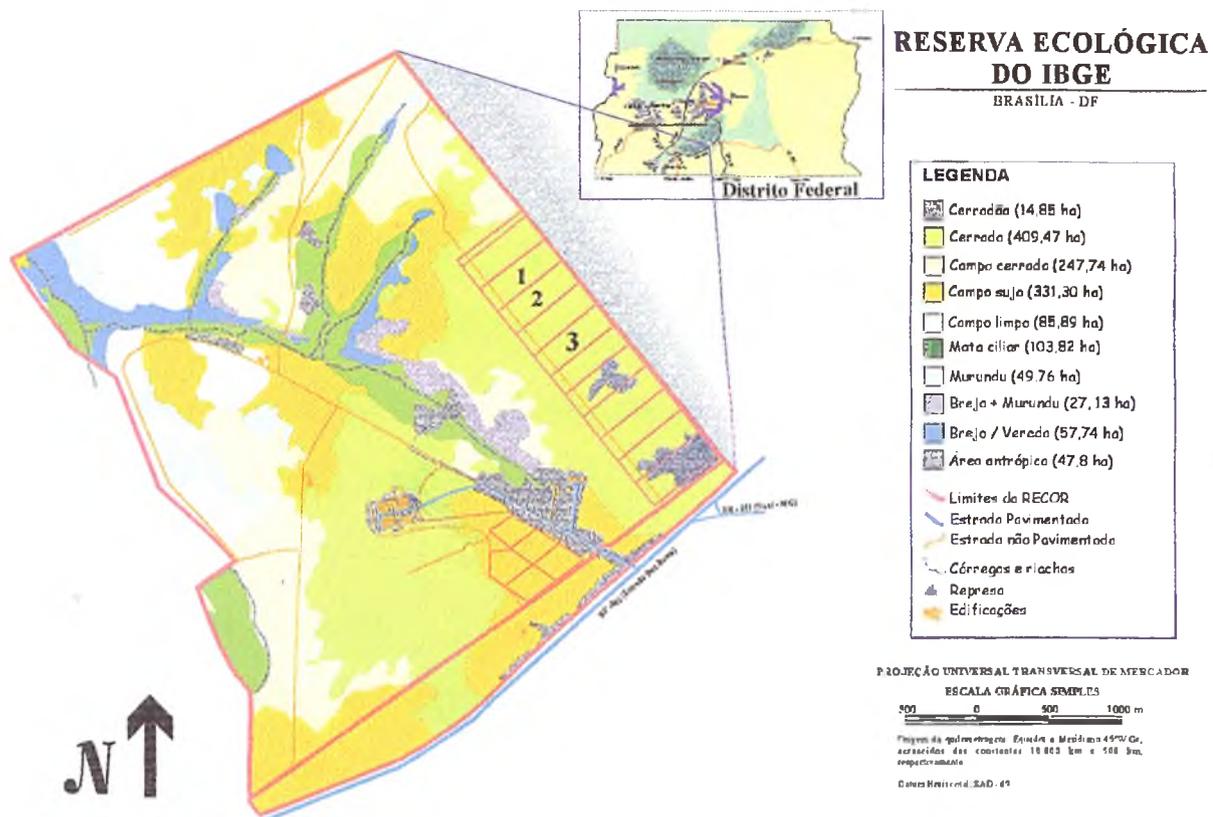


Figura 1. Mapa da localização da Reserva Ecológica do IBGE, em Brasília (DF) e das parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* submetidas a queimadas prescritas bienais em junho (no início da estação seca ou precoce, 2), em agosto (no meio da estação seca ou modal, 1) e em setembro (no final da estação seca ou tardia, 3).

Queimadas prescritas

As parcelas estavam protegidas do fogo por 18 anos, em 1992, quando teve início o experimento, sendo as queimadas prescritas realizadas a cada dois anos (bienal), a partir do ano de 1992 até o ano de 2000. O regime bienal foi adotado por ser o mais comum na região do cerrado (Coutinho 1982; 1990).

As queimadas foram realizadas no final da estação chuvosa – início da estação seca (precoce, final de junho), período mais próximo ao de queima natural na região do cerrado

(Ramos-Neto & Pivello 2000); no início de agosto (modal) representando o período de queima antrópica mais comum na região (Coutinho 1982; Coutinho *et al.* 1990) e no final da estação seca – início da estação chuvosa (tardia, final de setembro), período no qual a maior parte das espécies lenhosas já teria renovado as folhas ou florescido (Oliveira & Gibbs 2000).

Todas as queimadas foram realizadas com o auxílio da Brigada de Incêndios do IBGE e iniciadas sempre a favor do vento.

Inventário da vegetação

A área total de cada parcela experimental é de 10 ha (500 m x 200 m), sendo dividida em sub-parcelas de 100 m x 100 m. No centro de cinco sub-parcelas alternadas foram demarcadas as áreas amostrais de 50 m x 20 m para a realização do inventário da vegetação do estrato arbóreo-arbustivo.

Para o inventário, foram consideradas todas as plantas presentes nas cinco áreas amostrais de cada parcela experimental, antes da primeira queimada prescrita, em 1992, que apresentassem diâmetro igual ou superior a 5 cm, a 30 cm do nível do solo, sendo estas marcadas e inventariadas quanto à espécie e, medidas a altura e ao diâmetro a 30 cm do solo (Sato 1996; Sato *et al.* 1998).

Quando caules de uma mesma espécie estavam próximos, considerou-se que, caso estivessem separados, no nível do solo, por uma distância superior a 30 cm, seriam inventariados como indivíduos diferentes. Quando as plantas apresentaram bifurcações antes ou na altura de 30 cm do nível do solo, as medidas foram feitas para todos os caules que apresentassem diâmetro mínimo de 5 cm (Sambuichi 1991; Eiten & Sambuichi 1996).

Dois anos após cada queimada prescrita, no período de maio a agosto de 1994, 1996, 1998, 2000 e 2002 foram realizados os inventários para determinar os impactos causados na vegetação pelas queimadas prescritas de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000, respectivamente. Os inventários foram realizados nas mesmas áreas amostrais e indivíduos marcados em 1992, antes da realização da primeira queimada prescrita. Nestes inventários, realizados após cada queimada, foram mensurados a altura e o diâmetro, a 30 cm do solo, bem como o dano sofrido, isto é:

- Dano total (T) – destruição total da parte aérea e ausência de rebrota dois anos após queima, isto é morte do indivíduo ou, seja dano severo ou permanente;
- Dano parcial com rebrota aérea (Aa) - indivíduos que apresentaram destruição parcial da parte aérea e rebrota apenas na parte aérea da planta ou, seja dano leve (Figura 2a);
- Dano parcial com rebrota basal (Ab) – destruição total da parte aérea com rebrota na parte basal da planta – “*top kill*” ou, seja dano moderado (Figura 2b);
- Dano parcial com rebrota subterrânea (S) - destruição total da parte aérea com rebrota subterrânea – “*top kill*” ou, seja dano moderado (Figura 2c).

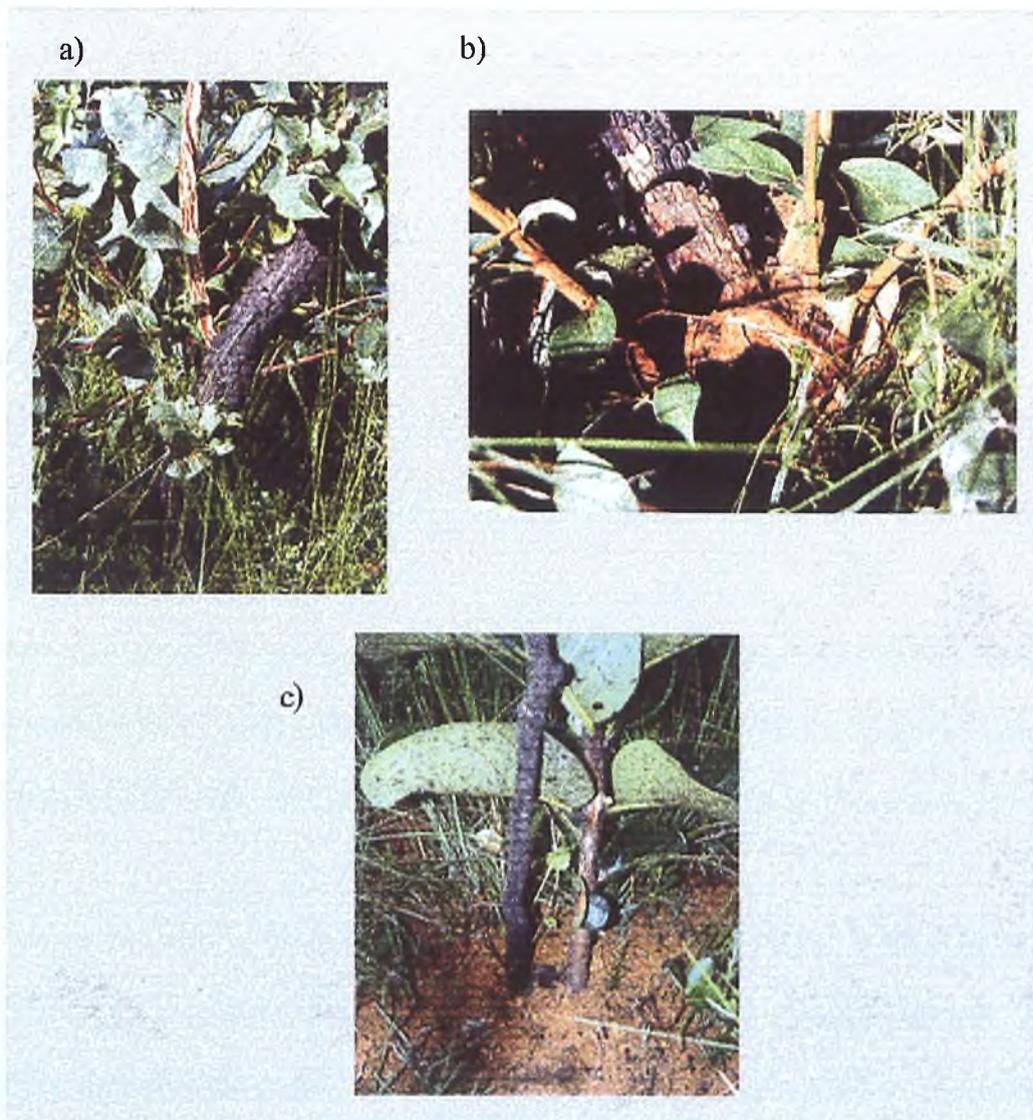


Figura 2. Tipos de rebrota para plantas do cerrado, a) dano parcial com rebrota aérea; b) dano parcial com rebrota basal e c) dano parcial com rebrota subterrânea.

Para determinar a mudança na estrutura da vegetação, foram considerados os indivíduos que apresentaram “*top kill*”, isto é, os que sofreram destruição da parte aérea e apresentaram rebrotas basal e/ou subterrânea, e os indivíduos mortos (Rutherford 1981; Whelan 1995; Rocha e Silva 1999). Para o cálculo da porcentagem de caules destruídos, foi utilizada a equação apresentada por Rocha e Silva (1999):

$$Cd = \frac{Tk + M}{V} \cdot 100 \quad (1)$$

onde, Cd é a porcentagem de caules destruídos; Tk é o número de indivíduos que sofreram “*top kill*”; M é o número de indivíduos mortos e V é o número de indivíduos vivos antes da queimada.

O teste de comparação de porcentagens apresentado por Sokal & Rohlf (1969) foi utilizado para comparar as taxas de mortalidade e de caules destruídos determinadas para as diferentes áreas, em cada queimada.

Para cada parcela experimental, foram determinadas a densidade absoluta, como o número de indivíduos (n_i) de cada espécie e a densidade relativa (%), como a relação entre o número de indivíduos de uma determinada espécie pelo número de indivíduos de todas as espécies.

Índices de diversidade de Shannon-Wiener (H); de similaridade de Sørensen (S) e de Czenkanowski (Sc) foram determinados para e entre as parcelas antes do início das queimadas prescritas. Para avaliar a diversidade florística foi utilizado o índice de Shannon-Wiener. A similaridade entre as parcelas experimentais foi determinada utilizando os índices de Sørensen para as comparações qualitativas entre as parcelas, pois está baseado na presença e ausência de espécies, e de Czenkanowski para as comparações quantitativas entre as parcelas, pois é uma modificação do índice de similaridade de Sørensen que está baseado na densidade das espécies (Magurran 1988).

$$H = -\sum p_i \log p_i \quad (2)$$

onde, p_i representa a proporção de cada espécie na comunidade (ou densidade relativa).

$$S = \frac{2c}{a + b} \quad (3)$$

onde, a é o número de espécies presentes na parcela **a**, b é o número de espécies presentes na parcela **b** e c o número de espécies comuns às duas áreas.

$$S_c = \frac{2 \sum_{i=1}^m \min(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^m x_i + \sum_{i=1}^m y_i} \quad (4)$$

onde, x é o número de indivíduos de cada espécie presente na parcela **a** e y é o número de indivíduos de cada espécie presente na parcela **b**.

Durante o inventário realizado, em 2002, após as cinco queimadas prescritas, foram incluídos os indivíduos que atingiram o diâmetro mínimo preestabelecido para este estudo, isto é, indivíduos recrutados devido à mudança de classe de diâmetro. Em cada parcela, todos os indivíduos recrutados foram identificados quanto à espécie, e medidos a altura e o diâmetro a 30 cm do solo.

Estimativa da biomassa

Biomassa do estrato herbáceo

A quantidade total de biomassa do estrato rasteiro foi determinada de acordo com a metodologia apresentada por Ward *et al.* (1992). Foram estabelecidos cinco transectos de 15,0 m. Ao longo de cada transecto, em intervalos de 3,0 m, foi coletada toda a biomassa

contida em um quadrado de 25 cm x 25 cm, incluindo o material da serapilheira. Um total de 25 amostras foi coletado em cada parcela experimental, antes da realização da primeira queimada prescrita e após dez anos do início do experimento. O material foi levado para o laboratório, onde foi separado em biomassa viva e morta e nos seguintes componentes: gramíneas, folhas e ramos. O material foi colocado em estufa a 80 °C, até atingir peso constante, quando então foi pesado.

Biomassa do estrato arbóreo-arbustivo

A quantidade total de biomassa aérea do estrato arbóreo-arbustivo foi determinada como o somatório da biomassa de cada indivíduo. Para o cálculo foi utilizada a equação alométrica apresentada por Abdala *et al.* (1998) para o cerrado *sensu stricto*:

$$\log (y) = 0,9967 \cdot \log (x) + 2,587 \quad (5)$$

onde, y é o total de biomassa seca de cada indivíduo (g) e x é o volume cilíndrico (dm^3), calculado como o produto da área basal e altura de cada indivíduo. A Equação (5) foi utilizada para calcular a biomassa tanto para os indivíduos vivos como para os mortos.

Poucos são os estudos que estimam a biomassa da vegetação do Cerrado pelo método destrutivo, apresentando a proporção de biomassa de folhas, ramos e troncos. Nestes estudos, a proporção de biomassa de folhas varia de 3,8% a 10,0% (Santos 1988; Silva 1990; Abdala *et al.* 1998; Lilienfein *et al.* 2001). Em estudo sobre a composição da biomassa da vegetação lenhosa de uma área de cerrado *sensu stricto* na Estação Ecológica de Águas Emendadas (DF), Santos (1988) determinou que a contribuição das folhas para o total de biomassa era de 5,5% durante a estação chuvosa, sendo reduzida para 3,8% na

estação seca. Desta forma, para o cálculo da biomassa lenhosa dos indivíduos mortos serão subtraídos 3,8% do total calculado com a Equação (5), uma vez que os inventários foram realizados durante a estação seca.

Para a estimativa completa da biomassa do estrato lenhoso, deveriam também ser incluídos os indivíduos com diâmetro menor que 5 cm (lenhoso fino). Esses não foram inventariados neste estudo. A inclusão dessa classe de indivíduos no inventário representaria entre 50% a 75% do total de indivíduos presentes na parcela (Ottmar *et al.* 2001) e representam entre 2,0% e 8,0% da biomassa dos indivíduos com diâmetro maior que 5,0 cm presente em áreas queimadas recentemente (1 – 2 anos). Para áreas protegidas de queima por mais de 20 anos, a biomassa dos indivíduos finos representam entre 4,7 e 25,6% da biomassa dos indivíduos com diâmetro superior a 5 cm. De acordo com Medeiros (2002), os indivíduos com diâmetro menor do que 5 cm representam cerca de 95% dos indivíduos mortos após uma queimada em campo sujo. Para efeito da estimativa de biomassa do estrato lenhoso, foi estimado, com a Eq. (5) e dados de Ottmar *et al.* (2001), que os indivíduos lenhosos finos representariam, em média, 10,9% da biomassa dos indivíduos lenhosos grossos antes da queima e 3,5% após as cinco queimadas.

A biomassa e a composição dos estratos rasteiro e arbóreo-arbustivo, assim como a variação no total de biomassa, foram utilizados para analisar a alteração na estrutura da vegetação e a perda no estoque de carbono, causada em áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a cinco queimadas bienais, em diferentes épocas do ano. Para a estimativa de carbono na biomassa aérea, foram adotadas as proporções sugeridas pelo IPCC (1996), de 40% para a biomassa morta e 45% para a biomassa viva.

Resultados e discussão

Inventário da vegetação antes da realização da primeira queima prescrita

Os inventários para o estrato arbóreo-arbustivo, dos indivíduos com diâmetro igual ou superior a 5 cm, a 30 cm do nível do solo, realizados em 1992, antes do início das queimadas prescritas, resultaram em um total de 2354 indivíduos/ha na parcela submetida a queimadas no final de junho (precoce), 2410 indivíduos/ha na parcela a ser queimada em meados de agosto (modal) e 2166 indivíduos/ha na parcela a ser queimada no final de setembro (tardia). Estes valores incluem um total de 126 indivíduos mortos por hectare na parcela precoce, 122 na modal e 104 na tardia (Tabela 1). O teste de similaridade de proporções (Sokal & Rohlf 1969) indicou não haver diferença significativa na proporção de indivíduos vivos e de indivíduos mortos entre as três parcelas.

Tabela 1. Inventários da vegetação arbóreo-arbustiva em três parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* a serem submetidas a queimadas prescritas no final de junho (precoce), início de agosto (modal) e final de setembro (tardia) de 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. As áreas estavam protegidas contra queima por 18 anos.

Parcela experimental	Precoce	Modal	Tardia
Indivíduos vivos/ha	2228	2288	2062
Indivíduos mortos/ha	126	122	104
Total de indivíduos/ha	2354	2410	2166
Número de famílias	28	30	31
Número de espécies	58	58	58
Índice de diversidade de Shannon-Wiener	3,31	3,38	3,44

O número de famílias variou de 28, na parcela precoce, a 31 na tardia. Porém, o número de espécies foi de 58 em todas as parcelas (Tabela 1). Estes valores mostram que o número total de indivíduos, bem como o de vivos e mortos, número de famílias e de espécies são similares aos encontrados por Felfili & Silva Jr. (1993), Durigan *et al.* (1994),

Batalha *et al.* (2001) e Ottmar *et al.* (2001) em inventários de espécies arbóreo-arbustivas de cerrado *sensu stricto*.

O índice de diversidade de Shannon-Wiener variou de 3,31 na parcela precoce a 3,44 na tardia (Tabela 1), similar aos valores determinados por Felfili *et al.* (1997) e Batalha *et al.* (2001) para cerrado *sensu stricto*.

Considerando as três parcelas experimentais, foi inventariado um total de 71 espécies, sendo 46 comuns às três áreas. O índice de similaridade de Sørensen, calculado entre as parcelas precoce e modal, foi de 0,88; 0,83 entre precoce e tardia e 0,86 entre modal e tardia. O índice de similaridade de Czenkanowski, calculado entre parcelas, foi sempre superior a 0,60, indicando que as parcelas são similares tanto floristicamente quanto estruturalmente. Segundo Gauch (1982) índices acima de 0,50 indicam alta similaridade entre áreas.

As 10 espécies que apresentam densidades mais altas, em cada uma das três áreas, representam mais de 56% do total de indivíduos (Tabela 2). A espécie *Ouratea hexasperma* apresentou maior densidade absoluta nas parcelas precoce e modal, com 354 e 342 indivíduos/ha, respectivamente. Na parcela tardia, *Styrax ferrugineus* foi a espécie que apresentou maior densidade absoluta com 326 indivíduos/ha.

Nas parcelas precoce, modal e tardia, um total de 10, seis e sete espécies estavam representadas por um indivíduo (Tabela 2), consequência do critério de diâmetro mínimo de 5 cm, a 30 cm da superfície do solo, adotado para inclusão dos indivíduos no inventário.

Nas três parcelas, o diâmetro, a 30 cm do solo, variou de 5 cm a 33 cm, sendo que cerca de 58% dos indivíduos apresentaram diâmetros entre 5 cm e 7 cm nas parcelas precoce e modal e cerca de 51% na parcela tardia. Os indivíduos com diâmetro maior do que 10 cm representaram cerca de 13%, 14% e 16% do total para as parcelas precoce,

Tabela 2. Número de indivíduos das espécies do estrato arbóreo-arbustivo presente em 0,5 ha das três parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* a serem submetidas a queimadas prescritas no final de junho (precoce), início de agosto (modal) e final de setembro (tardia) de 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. As áreas estavam protegidas contra queima por 18 anos.

Espécie	Precoce		Modal		Tardia	
	ni	(%)	ni	(%)	ni	(%)
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vog.) Yakolv.	-	-	-	-	1	0,1
<i>Aegiphila lhotzkiana</i> L.	-	-	-	-	1	0,1
<i>Andira humilis</i> Mart. ex Benth.	1	0,1	-	-	-	-
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	4	0,3	2	0,2	7	0,6
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	4	0,3	3	0,2	16	1,5
<i>Austroplenckia populnea</i> (Reiss.) Lund	-	-	2	0,2	2	0,2
<i>Baccharis intermixta</i> Gard.	-	-	1	0,1	-	-
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (H. B. & K.) Berg.	25	2,1	64	5,3	18	1,7
<i>Bowdichia virgilioides</i> H. B. & K.	9	0,8	2	0,2	7	0,6
<i>Butia leiospatha</i> (Barb. Rodr.) Becc.	2	0,2	4	0,3	4	0,4
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> H. B. & K.	10	0,8	2	0,2	-	-
<i>Byrsonima crassa</i> Nied.	26	2,2	26	2,2	28	2,6
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich. ex A. L. Juss.	12	1,0	21	1,7	16	1,5
<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.	4	0,3	5	0,4	21	1,9
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	7	0,6	16	1,3	7	0,6
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	-	-	-	-	2	0,2
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth. & Hook. f.	6	0,5	5	0,4	5	0,5
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	49	4,2	71	5,9	38	3,5
<i>Davilla elliptica</i> St. Hil.	23	2,0	22	1,8	15	1,4
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	3	0,3	2	0,2	1	0,1
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	8	0,7	3	0,2	14	1,3
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) Macb.	3	0,3	5	0,4	8	0,7
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.	69	5,9	36	3,0	59	5,4
<i>Eremanthus goyazensis</i> (Gard.) Sch. Bip.	1	0,1	5	0,4	-	-
<i>Eremanthus mollis</i> Sch. Bip.	1	0,1	-	-	-	-
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott. & Endl.	2	0,2	13	1,1	13	1,2
<i>Erythroxylum suberosum</i> St. Hil.	29	2,5	34	2,8	18	1,7
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	4	0,3	-	-	1	0,1
<i>Guapira gracilliflora</i> (Mart. ex Schimidt.) Lund	-	-	3	0,2	5	0,5
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lund	22	1,9	27	2,2	19	1,8
<i>Hancornia speciosa</i> Gomez	1	0,1	-	-	-	-
<i>Heteropterys escalloniifolia</i> A. Juss.	-	-	2	0,2	-	-
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	-	-	2	0,2	8	0,7
<i>Kielmeyera coriacea</i> (Spreng.) Mart.	55	4,7	64	5,3	42	3,9
<i>Kielmeyera speciosa</i> St. Hil.	2	0,2	5	0,4	-	-
<i>Lafoensia pacari</i> St. Hil.	-	-	1	0,1	15	1,4
<i>Machaerium opacum</i> Vog.	-	-	-	-	2	0,2

ni = número de indivíduos iniciais em 0,5 ha.

continua

Tabela 2. Número de indivíduos das espécies do estrato arbóreo-arbustivo presente em 0,5 ha das três parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* a serem submetidas a queimadas prescritas no final de junho (precoce), início de agosto (modal) e final de setembro (tardia) de 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. As áreas estavam protegidas contra queima por 18 anos (continuação).

Espécie	Precoce		Modal		Tardia	
	ni	(%)	ni	(%)	ni	(%)
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	1	0,1	-	-	-	-
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	31	2,6	24	2,0	4	0,4
<i>Miconia pohliana</i> Cogn.	16	1,4	26	2,2	5	0,5
<i>Mimosa clausenii</i> Benth.	1	0,1	2	0,2	-	-
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntz.	31	2,6	25	2,1	55	5,1
<i>Neea theifera</i> Oerst.	2	0,2	2	0,2	1	0,1
<i>Ouratea hexasperma</i> (St. Hil.) Baill.	177	15,0	171	14,2	54	5,0
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	54	4,6	39	3,2	16	1,5
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	5	0,4	8	0,7	10	0,9
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	1	0,1	10	0,8	7	0,6
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	2	0,2	1	0,1	-	-
<i>Psidium pohlianum</i> Berg.	1	0,1	-	-	1	0,1
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	5	0,4	10	0,8	6	0,6
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	6	0,5	19	1,6	40	3,7
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	5	0,4	4	0,3	13	1,2
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	55	4,7	71	5,9	6	0,6
<i>Roupala montana</i> Aubl.	79	6,7	57	4,7	53	4,9
<i>Rourea induta</i> Planch.	2	0,2	4	0,3	3	0,3
<i>Salacia crassifolia</i> (Mart.) G. Don.	3	0,3	1	0,1	3	0,3
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vog.	26	2,2	29	2,4	24	2,2
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Seem.) D. C. Frodin	31	2,6	30	2,5	44	4,1
<i>Strychnos pseudoquina</i> St. Hil.	-	-	-	-	6	0,6
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Cov.	28	2,4	9	0,7	28	2,6
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	63	5,4	31	2,6	163	15,1
<i>Syagrus comosa</i> (Mart.) Becc.	22	1,9	26	2,2	3	0,3
<i>Syagrus flexuosa</i> L. f	16	1,4	26	2,2	25	2,3
<i>Symplocos rhamnifolia</i> A. DC.	4	0,3	4	0,3	1	0,1
<i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl.	2	0,2	2	0,2	3	0,3
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schlecht.) K. Schum	1	0,1	-	-	-	-
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	-	-	-	-	3	0,3
<i>Vellozia squamata</i> Pohl.	22	1,9	20	1,7	35	3,2
<i>Vochysia elliptica</i> Mart.	39	3,3	43	3,6	22	2,0
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	1	0,1	1	0,1	4	0,4
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	-	-	1	0,1	-	-
Fuste morto	63	5,4	61	5,1	52	4,8
Total	1177	100,0	1205	100,0	1083	100,0

ni = número de indivíduos iniciais em 0,5ha.

modal e tardia, respectivamente (Figura 3b). A altura máxima para os indivíduos amostrados foi de 8,4 m na área precoce, 8,9 m na modal e 10,0 m na tardia (Figura 3a). Cerca de 69% dos indivíduos apresentaram altura entre 1,0 a 3,0 m, estando assim dentro da zona de chamas, que segundo Frost & Robertson (1987) varia de 0,8 a 2,8 m para queimadas de savanas. Poucos indivíduos ($\approx 4\%$ para as parcelas precoce e modal e $\approx 8\%$ para a tardia) apresentaram altura superior a 5 m.

Os parâmetros determinados para os inventários realizados antes do início das queimadas prescritas permitem a adoção da premissa de que a vegetação nas parcelas apresentava alta similaridade em termos de espécies e de estrutura, e que as diferenças obtidas nos inventários posteriores às queimadas são resultantes dos diferentes regimes de queima.

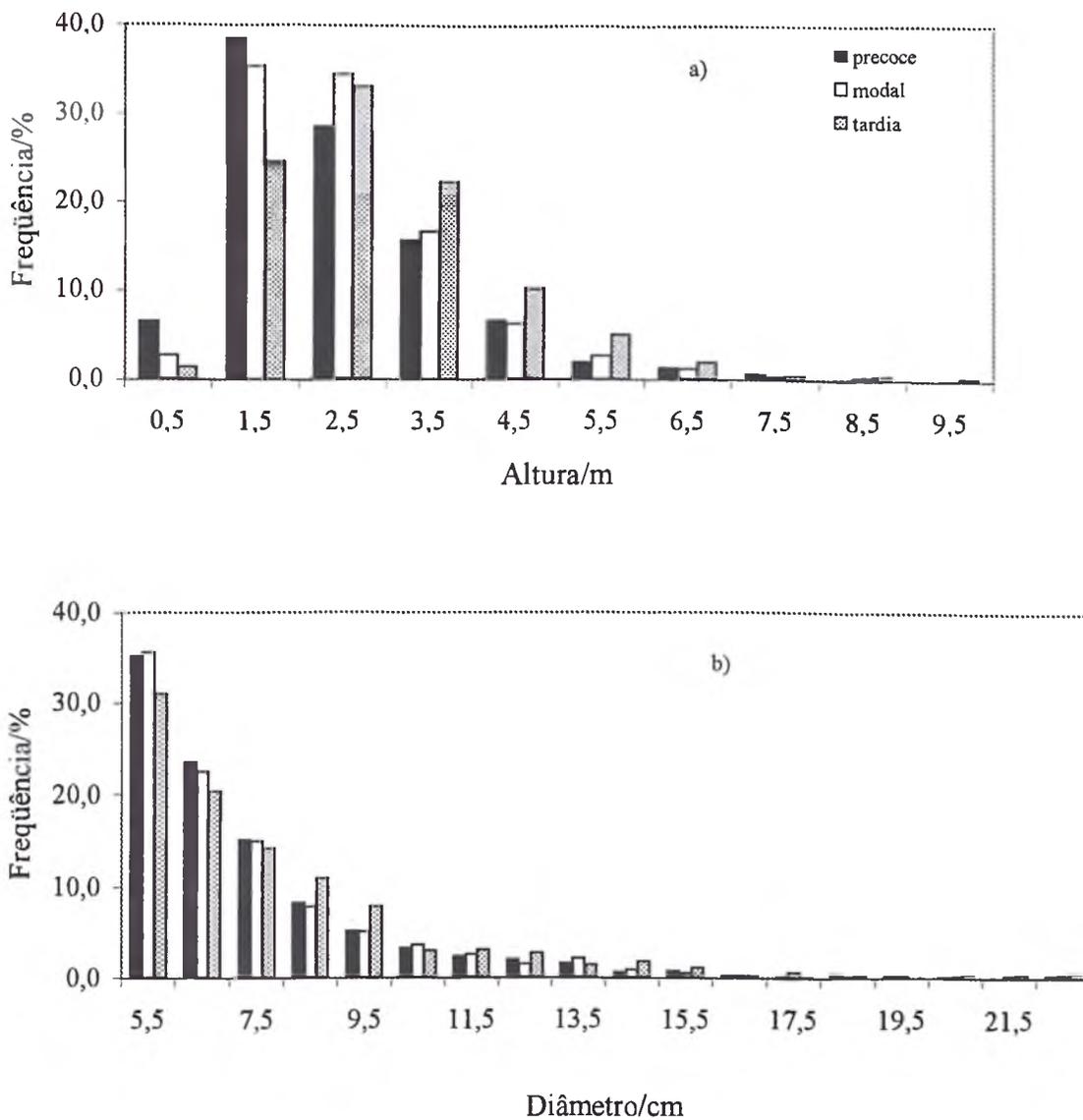


Figura 3. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo em três parcelas experimentais de cerrado *sensu stricto* a serem submetidas a queimadas prescritas no final de junho (precoce), início de agosto (modal) e final de setembro (tardia) de 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. As áreas estavam protegidas contra queima por 18 anos.

Taxas de mortalidade

Queimadas no final de junho - precoce

Antes da primeira queimada prescrita, em junho de 1992, foram inventariados 1177 indivíduos, sendo 1114 vivos e 63 mortos, na parcela submetida a queimadas prescritas precocemente (0,5 ha). Após a quinta queimada, em 2000, o número de indivíduos foi reduzido para 732, com 683 vivos e 49 mortos. Assim, as cinco queimadas prescritas resultaram em mortalidade acumulada de $\approx 39\%$. Ao longo das cinco queimadas o número de indivíduos mortos variou de 39 a 143. Após a primeira queimada prescrita (1992) o número de indivíduos foi reduzido para 971 vivos e 143 mortos. Foram inventariados 891 indivíduos vivos e 80 mortos após a queimada de 1994; 852 vivos e 39 mortos após a de 1996; 732 vivos e 120 mortos após a de 1998 e 683 vivos e 49 mortos após a de 2000. Assim, as taxas de mortalidade para o regime de queima precoce foram de 12,8%; 8,2%; 4,4%; 14,1% e 6,7% para as queimadas realizadas em 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000, respectivamente, sendo significativamente diferentes entre si ($P < 0,05$).

A mortalidade por espécie apresentou grande variação, sendo que seis espécies apresentaram 100% de mortalidade, 19 não sofreram perda de indivíduos e as demais apresentaram taxas de mortalidade entre 4,0% e 81,3% (Tabela 3).

Os indivíduos das espécies que não sofreram mortalidade representavam 4,0% dos inventariados antes do início das queimadas prescritas e, de forma geral, estavam representados por menos de cinco indivíduos por espécie: *Andira humilis* (1), *Butia leiosphata* (2), *Caryocar brasiliense* (4), *Enterolobium gummiferum* (3), *Eremanthus goyazensis* (1), *Eriotheca pubescens* (2), *Hancornia speciosa* (1), *Miconia albicans* (1), *Piptocarpha rotundifolia* (5), *Pouteria ramiflora* (1), *Pouteria torta* (2), *Psidium*

Tabela 3. Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no final de junho de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992.

Espécie	ni antes da queima	Taxa de mortalidade (%)					Total (%)
		1992	1994	1996	1998	2000	
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	69	53,7	40,6	63,1	100,0		100,0
<i>Eremanthus mollis</i>	1	100,0					100,0
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	4	0,0	25,0	0,0	100,0		100,0
<i>Mimosa clausenii</i>	1	100,0					100,0
<i>Neea theifera</i>	2	0,0	50,0	0,0	100,0		100,0
<i>Tabebuia ochracea</i>	2	100,0					100,0
<i>Syagrus flexuosa</i>	16	18,8	7,7	8,3	72,7	0,0	81,3
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	10	30,0	42,9	25,0	0,0	33,3	80,0
<i>Palicourea rigida</i>	54	29,6	26,3	21,4	22,7	29,4	77,8
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	26	11,5	8,7	0,0	38,1	38,5	69,2
<i>Syagrus comosa</i>	22	4,5	23,8	18,8	46,2	0,0	68,2
<i>Kielmeyera coriacea</i>	55	18,2	8,9	4,9	30,8	11,1	56,4
<i>Byrsonima crassa</i>	26	34,6	0,0	0,0	29,4	0,0	53,8
<i>Erythroxylum suberosum</i>	29	10,3	19,2	9,5	21,1	6,7	51,7
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	12	8,3	27,3	0,0	12,5	14,3	50,0
<i>Kielmeyera speciosa</i>	2	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
<i>Myrsine guianensis</i>	31	6,5	10,3	3,8	24,0	10,5	45,2
<i>Roupala montana</i>	79	8,9	8,3	3,0	14,1	18,2	43,0
<i>Connarus suberosus</i>	7	14,3	33,3	0,0	0,0	0,0	42,9
<i>Dimorphandra mollis</i>	3	0,0	0,0	0,0	33,3	0,0	33,3
<i>Vochysia elliptica</i>	39	5,1	0,0	2,7	19,4	10,4	33,3
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	28	7,1	15,4	4,5	0,0	9,5	32,1
<i>Styrax ferrugineus</i>	63	7,9	0,0	1,7	12,3	10,0	28,6
<i>Ouratea hexasperma</i>	177	11,3	4,4	1,4	8,1	4,4	26,6
<i>Miconia ferruginata</i>	31	3,2	6,7	0,0	17,9	0,0	25,8
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	4	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	25,0
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	4	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	25,0
<i>Diospyros hispida</i>	8	0,0	0,0	0,0	12,5	14,3	25,0
<i>Qualea parviflora</i>	55	7,3	7,8	2,1	4,3	4,5	23,6
<i>Vellozia squamata</i>	22	9,1	0,0	0,0	15,0	0,0	22,7
<i>Davilla elliptica</i>	23	8,7	4,8	0,0	0,0	10,0	21,7
<i>Miconia pohliana</i>	16	0,0	6,2	6,7	7,1	0,0	18,8
<i>Couepia grandiflora</i>	6	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	16,7
<i>Qualea grandiflora</i>	6	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	16,7
<i>Bowdichia virgilioides</i>	9	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	11,1
<i>Guapira noxia</i>	22	4,5	0,0	0,0	4,8	0,0	9,1
<i>Dalbergia miscolobium</i>	49	4,0	2,1	0,0	2,2	0,0	8,2
<i>Schefflera macrocarpa</i>	31	3,2	3,3	0,0	0,0	0,0	6,5
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	25	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	4,0

ni = número de indivíduos

continua

Tabela 3. Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no final de junho de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992 (continuação).

Espécie	ni antes da queima	Taxa de mortalidade (%)					Total (%)
		1992	1994	1996	1998	2000	
<i>Andira humilis</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Butia leiospatha</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Caryocar brasiliense</i>	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Enterolobium gummiferum</i>	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Eremanthus goyazensis</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Eriotheca pubescens</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Hancornia speciosa</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Miconia albicans</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Pouteria ramiflora</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Pouteria torta</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Psidium pohlianum</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Pterodon pubescens</i>	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Qualea multiflora</i>	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Rourea induta</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Salacia crassifolia</i>	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Symplocos rhamnifolia</i>	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Tocoyena formosa</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1114	12,8	8,2	4,4	14,1	6,7	38,7

ni = número de indivíduos

pohlianum (1), *Pterodon pubescens* (5), *Qualea multiflora* (5), *Rourea induta* (2), *Salacia crassifolia* (3), *Symplocos rhamnifolia* (4), *Tocoyena formosa* (1) e *Vochysia thyrsoidea* (1). Embora não tenha sido registrada mortalidade para estas espécies, cerca de 18% sofreram *top kill*, apresentando rebrotas basais e/ou subterrânea.

Os indivíduos das espécies que apresentaram 100% de mortalidade representavam 7% dos indivíduos e 10% das espécies inventariados antes do início das queimadas (Tabela 3). Estas espécies foram *Eremanthus glomerulatus* (69), *E. mollis* (1), *Erythroxylum tortuosum* (4), *Mimosa clausenii* (1), *Neea theifera* (2) e *Tabebuia ochracea* (2).

Altas taxas de mortalidade são esperadas entre os indivíduos de menor porte (Armando 1994; Matos 1994; Hoffmann 2003). Entretanto, houve uma grande variação na altura e diâmetro dos indivíduos das espécies que sofreram 100% de mortalidade (Tabela 4), incluindo indivíduos com até 7,0 m de altura e até 13,0 cm de diâmetro.

Tabela 4. Variação de altura e diâmetro das espécies que sofreram mortalidade em 100% de seus indivíduos após cinco queimadas bienais realizadas no final de junho em área de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Espécie	Altura (m)			Diâmetro (cm)		
	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	1,3	3,7	7,0	5,0	6,4	11,2
<i>Eremanthus mollis</i>		2,1			6,3	
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	0,6	0,9	1,1	5,3	6,0	6,7
<i>Mimosa clausenii</i>		3,3			6,3	
<i>Neea theifera</i>	1,3	1,9	2,4	6,5	6,8	7,0
<i>Tabebuia ochracea</i>	1,6	2,3	3,0	5,2	9,1	13,0

A grande variação na altura e no diâmetro observada para as espécies que sofreram 100% de mortalidade é também observada para os indivíduos de todas as espécies que sofreram mortalidade nas cinco queimadas prescritas realizadas. Cerca de 50% apresentavam altura entre 0,5 e 2,0 m, chegando a aproximadamente, 75% dos indivíduos com altura inferior a 3,0 m. Para os indivíduos com altura superior a 4,0 m, a mortalidade raramente ultrapassou 4% (Figura 4a). Embora tenha sido registrada mortalidade em todas as classes de diâmetro, os indivíduos com diâmetro entre 5,0 e 7,0 cm apresentaram as maiores taxas de mortalidade, que variou de 41% na queimada de 1998 a 68% na de 1992 (Figura 4b).

De forma geral, os indivíduos mortos nas cinco queimadas haviam sofrido dano parcial na queimada anterior, apresentando rebrotas apenas na parte aérea (Tabela 5). A

morte do fuste principal, com rebrotas basais ou subterrâneas, *top kill*, variou de 7,7% como consequência da queimada de 1996 a $\approx 29\%$ após as queimadas de 1994 e 2000. Foram observadas diferenças significativas entre as proporções de *top kill* para as queimadas de 1994/1996 e entre 1996/2000. Este tipo de análise não pôde ser efetuado para os 143 indivíduos mortos na queimada de 1992, uma vez que estes não apresentavam dano antes da realização da primeira queimada.

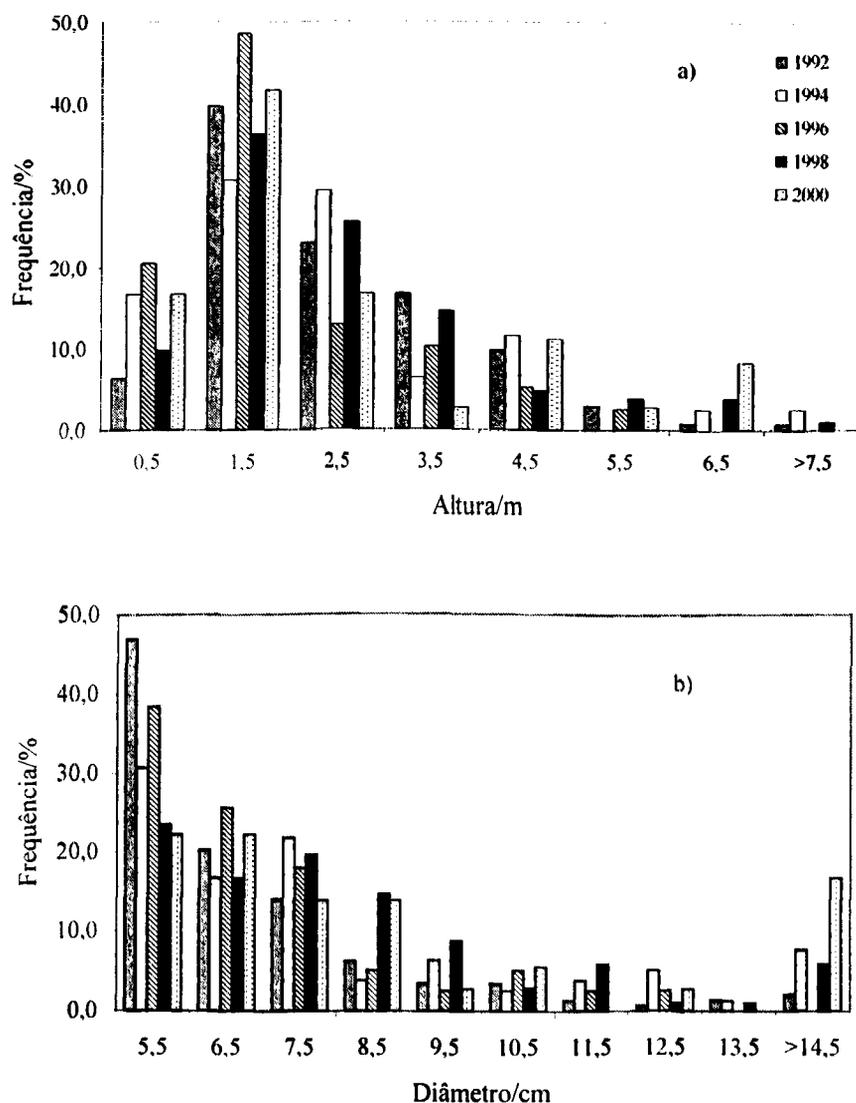


Figura 4. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo e que sofreram mortalidade, presente na parcela experimental de cerrado

sensu stricto submetida a cinco queimadas prescritas no final de junho (precoce), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Tabela 5. Indivíduos que sofreram mortalidade pela queimada prescrita do ano em questão e que apresentavam *top kill* ou rebrota aérea (Aa) no inventário anterior, na parcela submetida a queima prescrita precoce (junho), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Ano da queimada	Indivíduos mortos	Rebrota aérea (%)	<i>Top kill</i> (%)
1992	143	-	-
1994	80	71,3	28,7
1996	39	92,3	7,7
1998	120	81,7	18,3
2000	49	71,4	28,6

As cinco queimadas bienais reduziram em 38,7% o número de indivíduos vivos na área. Entretanto, ao considerarmos também os indivíduos que, no inventário realizado em 2002, apresentavam *top kill* (60 indivíduos), as cinco queimadas bienais precoces resultaram na destruição de 44% dos fustes presentes na área.

No inventário realizado em 2002, após as cinco queimas, foram incluídos todos os indivíduos que, ao longo dos 10 anos do experimento, haviam atingido o diâmetro mínimo de 5,0 cm, a 30 cm do solo, e que não constavam dos inventários anteriores. Foram inventariados 240 indivíduos recrutados distribuídos em 38 espécies. Os indivíduos de *Ouratea hexasperma* representaram cerca de 23% do total (Tabela 6). *Erythroxylum tortuosum* e *Mimosa clausenii*, espécies que apresentaram 100% de mortalidade como consequência das queimadas (Tabela 4), foram novamente incluídas no inventário. Foram incluídos dois indivíduos de *M. clausenii* (1,8 m e 2,7 m de altura e 5,1 cm e 5,4 cm de diâmetro, respectivamente) e um de *E. tortuosum* (1,4 m de altura e 5,7 cm de diâmetro). *Acosmium dasycarpum*, espécie que não constava do inventário de 1990, também foi incluída, apresentando um indivíduo com 1,6 m de altura e 5,7 cm de diâmetro a 30 cm do solo.

Tabela 6. Lista das 38 espécies lenhosas (240 indivíduos) recrutadas no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto*, após cinco queimadas prescritas bienais realizadas no final de junho, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Espécie	ni	(%)	Espécie	ni	(%)
<i>Acosmium dasycarpum</i>	1	0,4	<i>Miconia pohliana</i>	8	3,3
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	0,8	<i>Mimosa clausenii</i>	2	0,8
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	2	0,8	<i>Myrsine guianensis</i>	9	3,8
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	2	0,8	<i>Ouratea hexasperma</i>	55	22,9
<i>Bowdichia virgilioides</i>	13	5,4	<i>Palicourea rigida</i>	4	1,7
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	7	2,9	<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	3	1,3
<i>Byrsonima crassa</i>	24	10,0	<i>Psidium pohlianum</i>	2	0,8
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	7	2,9	<i>Pterodon pubescens</i>	2	0,8
<i>Dalbergia miscolobium</i>	23	9,6	<i>Qualea multiflora</i>	5	2,1
<i>Davilla elliptica</i>	3	1,3	<i>Qualea parviflora</i>	17	7,1
<i>Schefflera macrocarpa</i>	1	0,4	<i>Roupala montana</i>	1	0,4
<i>Dimorphandra mollis</i>	2	0,8	<i>Rourea induta</i>	1	0,4
<i>Diospyros hispida</i>	2	0,8	<i>Salacia crassifolia</i>	2	0,8
<i>Enterolobium gummiferum</i>	1	0,4	<i>Sclerolobium paniculatum</i>	3	1,3
<i>Erythroxylum suberosum</i>	1	0,4	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	7	2,9
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	1	0,4	<i>Styrax ferrugineus</i>	1	0,4
<i>Guapira noxia</i>	3	1,3	<i>Vellozia squamata</i>	7	2,9
<i>Kielmeyera coriacea</i>	11	4,6	<i>Vochysia elliptica</i>	1	0,4
<i>Miconia ferruginata</i>	3	1,3	<i>Vochysia thyrsoidea</i>	1	0,4

ni = número de indivíduos

A distribuição da altura dos 240 indivíduos recrutados no inventário da parcela precoce variou de 0,5 m a 4,8 m, com cerca de 55% dos indivíduos apresentando até 2,0 m de altura (Figura 5a), e o diâmetro variando de 5,0 cm a 10,4 cm, sendo que cerca de 63% apresentavam diâmetro menor que 6,0 cm (Figura 5b). Poucos ($\approx 3\%$) apresentaram diâmetro superior a 8,0 cm.

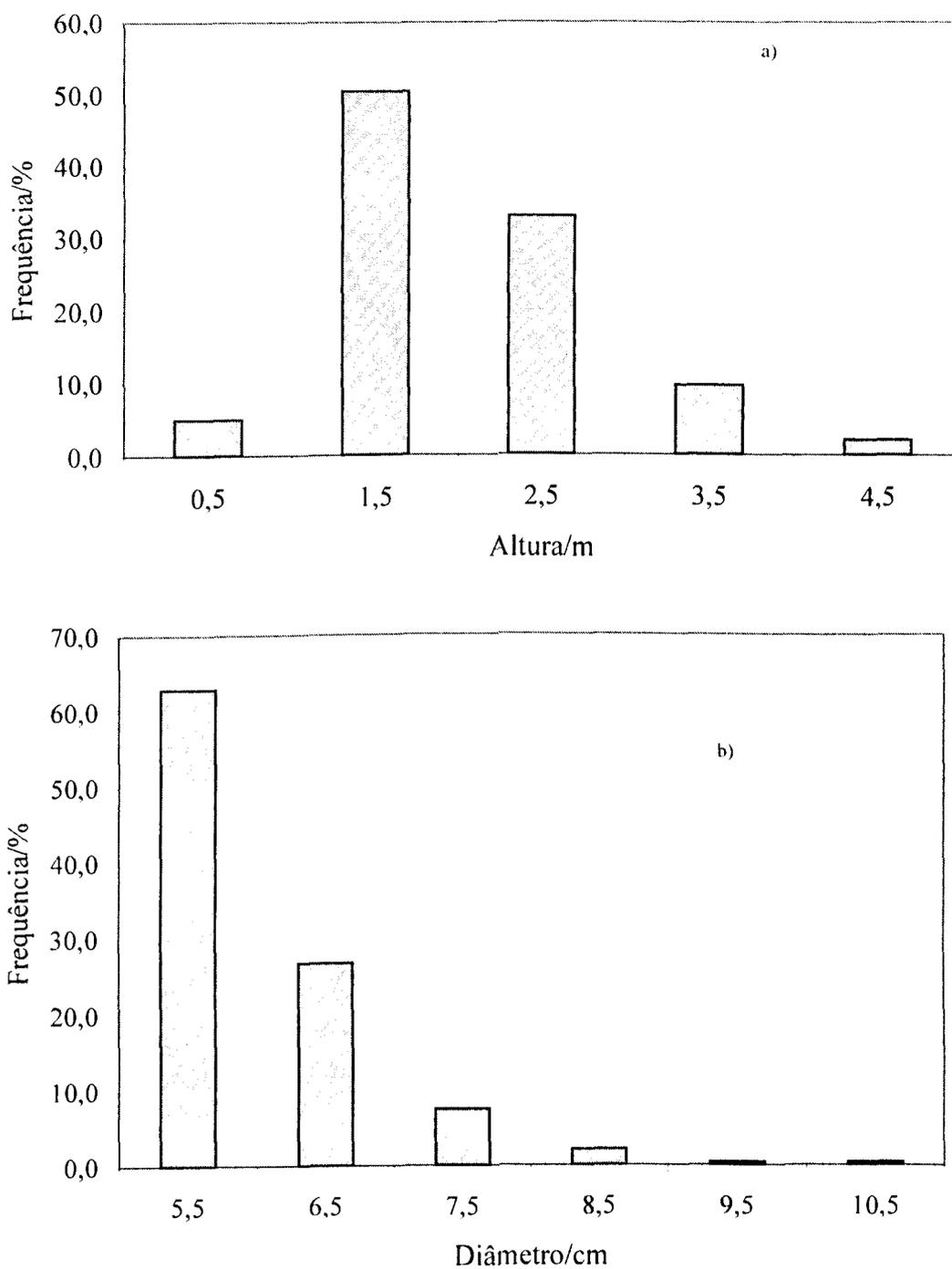


Figura 5. Distribuição de altura (a) e do diâmetro, a 30 cm do solo (b) dos 240 indivíduos recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto* após a realização de cinco queimadas bienais no final de junho, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Após a queimada de 2000, restavam na área 732 indivíduos, sendo 683 vivos e 49 mortos. Ao adicionarmos os 240 indivíduos que atingiram o diâmetro mínimo estabelecido para o inventário, resultaram 972 indivíduos, sendo 923 vivos e 49 mortos. Ao compararmos a proporção de indivíduos mortos em relação ao total (5,0%), após as cinco queimadas com a existente na área antes do início do experimento (5,3%) não foi observada diferença significativa.

Após cinco queimadas, a altura máxima foi de 10,0 m e aproximadamente 72% dos indivíduos apresentavam altura de até 3,0 m (Figura 6a). O diâmetro dos indivíduos presentes, a 30 cm do solo, variou de 3,2 cm a 26,4 cm. A redução no diâmetro mínimo de 5,0 cm para 3,2 cm foi consequência do consumo da casca durante as sucessivas queimadas ou morte parcial do tronco. Cerca de 51% dos indivíduos apresentaram diâmetros entre 5,0 cm e 7,0 cm, enquanto os indivíduos com diâmetro maior do que 10,0 cm representaram $\approx 16\%$ do total (Figura 6b).

Comparando a composição florística e a estrutura da comunidade na parcela submetida a queimadas prescritas precoces, antes e após as cinco queimadas, incluindo os 240 indivíduos recrutados, foi observado que o índice de diversidade de Shannon-Wiener sofreu redução de 3,31 para 3,25 e que os índices de similaridade de Sørensen e de Czenkanowski foram 0,96 e 0,82, respectivamente, indicando que a parcela continua similar tanto floristicamente quanto estruturalmente a do inventário realizado antes da primeira queimada.

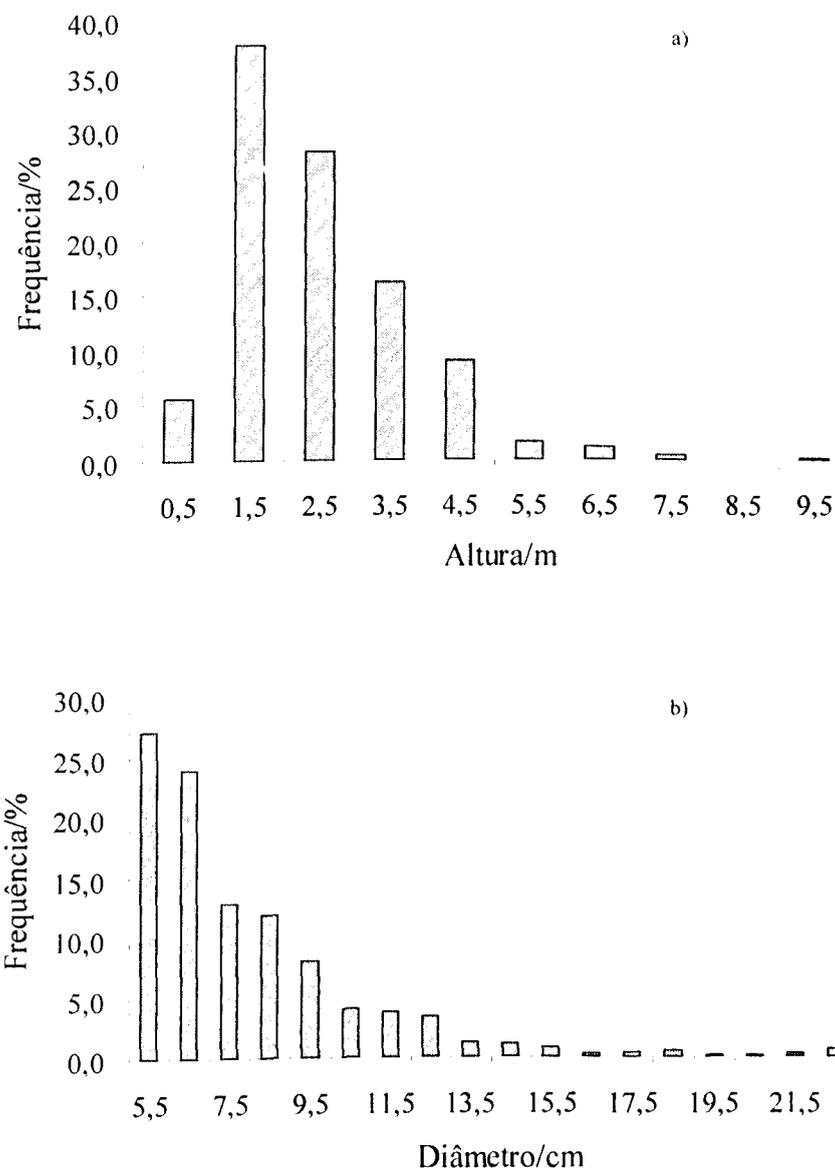


Figura 6. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo após cinco queimadas prescritas no final de junho (precoce) na parcela experimental de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Queimadas no início de agosto - modal

Para a parcela modal (0,5 ha), o número total de indivíduos inventariado antes da primeira queima (1992) foi de 1205, sendo 1144 vivos e 61 mortos (Tabela 2). Estes valores foram reduzidos para 696 indivíduos, sendo 629 vivos e 67 mortos após as cinco queimadas, resultando em uma redução de 45% no número de indivíduos vivos.

A redução do número de indivíduos, devido à mortalidade, após cada queimada foi variada, sendo que após a primeira queima, em 1992, a parcela apresentou 1006 indivíduos vivos e 138 mortos; 952 vivos e 54 mortos após a queimada em 1994; 857 vivos e 95 mortos, após a queimada prescrita em 1996; 696 vivos e 161 mortos, após a queima de 1998 e 629 vivos e 67 mortos após a queimada de 2000, resultando em taxas de mortalidade para a parcela de 12,1%; 5,4%; 10,0%; 18,8% e 9,6% para as queimadas realizadas em 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000, respectivamente. Essas taxas são estatisticamente diferentes entre si ($P < 0,05$).

As taxas de mortalidade para as espécies submetidas a cinco queimadas prescritas com regime de queima modal apresentaram valores que variaram entre 13% e 94% (Tabela 7). Apenas seis espécies não apresentaram mortalidade e sete sofreram 100% de mortalidade.

As seis espécies ($\approx 10\%$ do total inventariado), *Lafoensia pacari*, *Salacia crassifolia*, *Vochysia tucanorum*, *Aspidosperma macrocarpon*, *Bowdichia virgilioides* e *Hymenaea stigonocarpa*, onde, no inventário inicial, as três primeiras espécies apresentaram-se com um indivíduo e as três últimas com dois indivíduos, porém após as cinco queimadas prescritas não apresentaram qualquer mortalidade.

Tabela 7. Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no início de agosto de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000 na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992.

Espécies	ni antes da queima	Taxa de mortalidade (%)					Total (%)
		1992	1994	1996	1998	2000	
<i>Baccharis intermixta</i>	1	100,0					100,0
<i>Diospyros hispida</i>	3	0,0	0,0	100,0			100,0
<i>Eremanthus goyazensis</i>	5	40,0	0,0	0,0	100,0		100,0
<i>Guapira graciliflora</i>	3	33,3	0,0	100,0			100,0
<i>Mimosa clausenii</i>	2	100,0					100,0
<i>Pouteria torta</i>	1	100,0					100,0
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	1	100,0					100,0
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	36	41,7	33,3	35,7	55,6	50,0	94,4
<i>Palicourea rigida</i>	39	17,9	9,4	24,1	77,3	40,0	92,3
<i>Couepia grandiflora</i>	5	0,0	0,0	20,0	50,0	50,0	80,0
<i>Kielmeyera speciosa</i>	5	0,0	0,0	20,0	25,0	66,7	80,0
<i>Kielmeyera coriacea</i>	64	20,3	17,6	21,4	48,5	5,9	75,0
<i>Myrsine guianensis</i>	25	0,0	12,0	4,5	42,9	25,0	64,0
<i>Syagrus comosa</i>	26	19,2	4,8	25,0	26,7	9,1	61,5
<i>Enterolobium gummiferum</i>	5	20,0	0,0	25,0	0,0	33,3	60,0
<i>Roupala montana</i>	57	12,3	10,0	28,9	21,9	8,0	59,6
<i>Styrax ferrugineus</i>	31	19,4	8,0	13,0	15,0	23,5	58,1
<i>Vochysia elliptica</i>	43	14,0	2,7	11,1	31,3	13,6	55,8
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	29	13,8	12,0	13,6	21,1	13,3	55,2
<i>Austroplenckia polpunea</i>	2	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	2	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
<i>Dimorphandra mollis</i>	2	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	50,0
<i>Heteropterys escallontifolia</i>	2	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
<i>Neea theifera</i>	2	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	8	25,0	0,0	0,0	0,0	33,3	50,0
<i>Tabebuia ochracea</i>	2	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	21	19,0	11,8	0,0	13,3	15,4	47,6
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	9	0,0	11,1	12,5	14,3	16,7	44,4
<i>Connarus suberosus</i>	16	18,8	7,7	0,0	16,7	10,0	43,8
<i>Syagrus flexuosa</i>	26	3,8	8,0	8,7	23,8	6,3	42,3
<i>Guapira noxia</i>	27	22,2	0,0	4,8	5,0	15,8	40,7
<i>Ouratea hexasperma</i>	171	8,2	2,5	9,8	19,6	5,4	38,6
<i>Miconia ferruginata</i>	24	8,3	9,1	15,0	5,9	6,3	37,5
<i>Qualea parviflora</i>	71	11,3	1,6	9,7	14,3	4,2	35,2
<i>Vellozia squamata</i>	20	15,0	11,8	0,0	0,0	13,3	35,0
<i>Byrsonima crassa</i>	26	15,4	4,5	9,5	5,3	5,6	34,6
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	3	0,0	0,0	0,0	33,3	0,0	33,3
<i>Erythroxylum suberosum</i>	34	0,0	5,9	9,4	17,2	4,2	32,4
<i>Pterodon pubescens</i>	10	20,0	0,0	0,0	12,5	0,0	30,0

ni = número de indivíduos

continua

Tabela 7. Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no início de agosto de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000 na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992 (continuação).

Espécies	ni antes da queima	Taxa de mortalidade (%)					Total (%)
		1992	1994	1996	1998	2000	
<i>Davilla elliptica</i>	22	0,0	0,0	0,0	18,2	11,1	27,3
<i>Qualea grandiflora</i>	19	5,3	0,0	0,0	16,7	6,7	26,3
<i>Butia leiospatha</i>	4	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0
<i>Qualea multiflora</i>	4	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0
<i>Rourea induta</i>	4	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0
<i>Symplocos rhamnifolia</i>	4	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	64	6,3	0,0	1,7	8,5	9,3	23,4
<i>Eriotheca pubescens</i>	13	0,0	0,0	0,0	15,4	9,1	23,1
<i>Miconia pohliana</i>	26	3,8	0,0	4,0	4,2	13,0	23,1
<i>Dalbergia miscolobium</i>	71	5,6	1,5	1,5	7,7	8,3	22,5
<i>Caryocar brasiliense</i>	5	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	20,0
<i>Pouteria ramiflora</i>	10	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	20,0
<i>Schefflera macrocarpa</i>	30	0,0	3,3	0,0	6,9	3,7	13,3
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bowdichia virgilioides</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Lafoensia pacari</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Salacia crassifolia</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Vochysia tucanorum</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fuste morto	61						5,1
Total	1205	12,1	5,4	10,0	18,8	9,6	45,0

ni = número de indivíduos

As sete espécies que apresentaram 100% de mortalidade representavam cerca de 1% dos indivíduos inventariados em 1990, e apresentavam número de indivíduos variando entre um e cinco: *Baccharis intermixta* (1), *Diospyros hispida* (3), *Eremanthus goyazensis* (5), *Guapira graciliflora* (3), *Mimosa clausenii* (2), *Pouteria torta* (1) e *Vochysia thyrsoidea* (1). Estes indivíduos apresentavam diâmetro entre 5,0 cm e 7,4 cm e altura entre 1,5 m e 4,3 m (Tabela 8).

Tabela 8. Variação de altura e diâmetro das espécies que sofreram mortalidade em 100% de seus indivíduos após cinco queimadas bianuais modais prescritas realizadas na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Espécies	Altura (m)			Diâmetro (cm)		
	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
<i>Baccharis intermixta</i>		4,3			6,2	
<i>Diospyros hispida</i>	1,5	1,8	2,1	5,1	5,9	7,4
<i>Eremanthus goyazensis</i>	1,5	2,2	2,7	5,6	5,8	6,0
<i>Guapira graciliflora</i>	2,4	2,8	3,1	5,0	5,4	6,2
<i>Mimosa clausenii</i>	2,9	3,0	3,1	5,0	5,1	5,2
<i>Pouteria torta</i>		2,9			7,0	
<i>Vochysia thyrsoidea</i>		3,0			6,5	

Dentre os indivíduos mortos nas cinco queimadas, a altura variou entre 0,5 m a 8,9 m, sendo que cerca de 50% dos indivíduos apresentavam altura inferior a 2,0 m e 83% altura inferior a 3,0 m (Figura 7a). O diâmetro variou entre 5,0 cm e 25,0 cm. Os indivíduos mortos que apresentavam diâmetro entre 5,0 cm e 7,0 cm representavam cerca de 59% em 1992 e 67,4% em 1996 (Figura 7b).

De forma geral, os indivíduos mortos nas cinco queimadas haviam sofrido dano parcial na queimada anterior, com morte do fuste principal e rebrotas basais ou subterrâneas, *top kill*, variou de 39,1% como consequência da queimada de 1998 a \approx 69,0% após a queimada de 1994 (Tabela 9). Foram observadas diferenças significativas entre as proporções de *top kill* entre as queimadas de 1994/1996, 1994/1998 e entre 1994/2000. Este tipo de análise não pôde ser efetuado para os 138 indivíduos mortos na queimada de 1992, uma vez que estes não apresentavam dano antes da realização da primeira queimada.

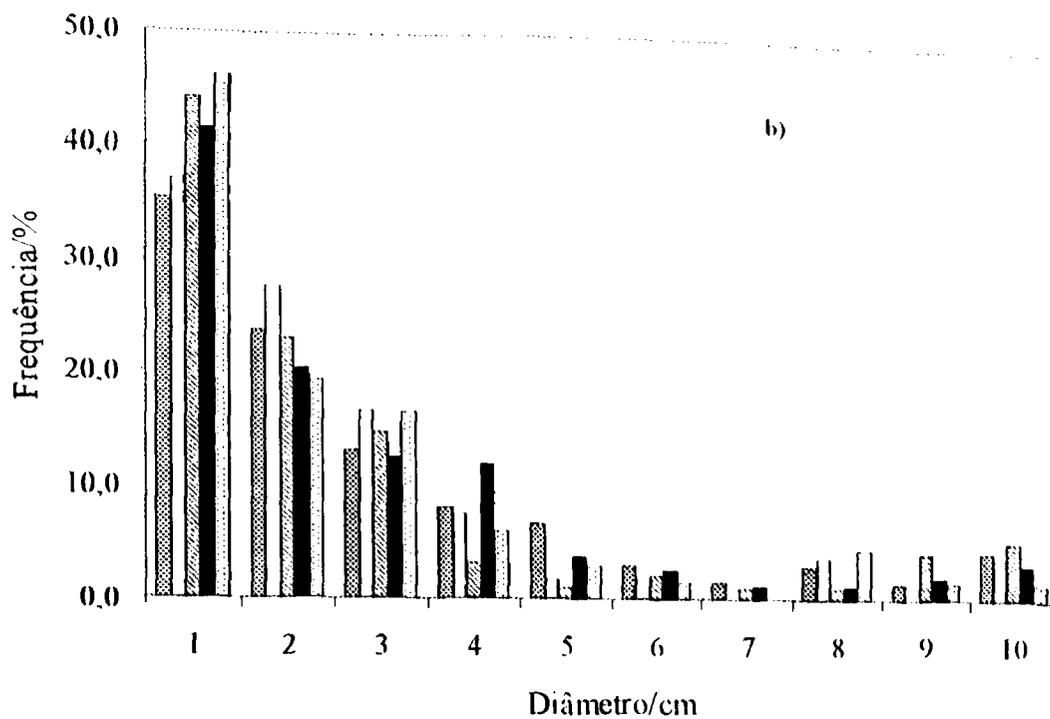
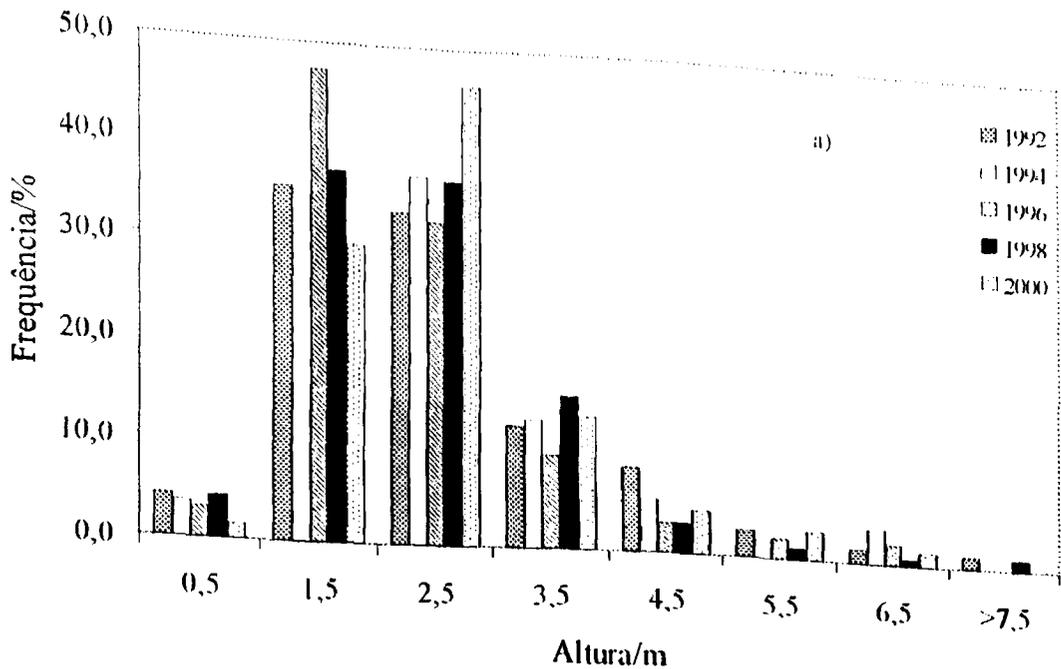


Figura 7. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo que sofreram mortalidade, presente na parcela experimental de cerrado *sensu stricto* submetida a cinco queimadas prescritas no início de agosto (modal), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Tabela 9. Indivíduos que sofreram mortalidade pela queimada prescrita do ano em questão e que apresentavam *top kill* ou rebrota aérea (Aa) no inventário anterior, na parcela submetida a queima prescrita modal (agosto) na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Ano da queimada	Indivíduos mortos	Rebrota aérea (%)	<i>Top kill</i> (%)
1992	138	-	-
1994	54	31,5	68,5
1996	95	50,5	49,5
1998	161	60,9	39,1
2000	67	52,2	47,8

As cinco queimadas bienais realizadas no mês de agosto reduziram em cerca de 45% o número de indivíduos vivos na área. Entretanto, ao considerarmos também os indivíduos que, no inventário realizado em 2002, apresentavam *top kill* (157 indivíduos), as cinco queimadas bienais modais resultaram na destruição de $\approx 59\%$ dos fustes presentes na área. Portanto, cinco queimadas bienais em uma área de cerrado *sensu stricto* no auge da estação seca, agosto, resultam em danos elevados para a vegetação lenhosa, com elevadas taxas de mortalidade e de *top kill*.

Considerando o diâmetro mínimo preestabelecido para este estudo (5,0 cm de diâmetro, a 30 cm do solo), foram recrutados 74 indivíduos, distribuídos em 19 espécies, sendo que 27% dos indivíduos recrutados eram de *Ouratea hexasperma* (Tabela 10). Dentre as espécies que sofreram mortalidade de todos os indivíduos após as cinco queimadas prescritas, *Mimosa clausenii* foi a única espécie recrutada, com um indivíduo apresentando 1,4 m de altura e 6,2 cm de diâmetro.

O diâmetro dos 74 indivíduos variou de 5,0 cm a 8,7 cm, sendo que $\approx 54\%$ dos indivíduos apresentavam até 6,0 cm de diâmetro. A altura máxima foi de 3,7 m, e os indivíduos com até 2,0 m de altura representavam $\approx 72\%$ do total (Figura 8).

Tabela 10. Lista das 19 espécies lenhosas (74 indivíduos) recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto*, após cinco queimadas prescritas bienais realizadas no início de agosto, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Espécie	ni	(%)
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	1	1,4
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	1	1,4
<i>Byrsonima crassa</i>	13	17,6
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	2	2,7
<i>Connarus fulvus</i>	1	1,4
<i>Couepia grandiflora</i>	1	1,4
<i>Dalbergia miscolobium</i>	6	8,1
<i>Davilla elliptica</i>	5	6,8
<i>Enterolobium gummiferum</i>	1	1,4
<i>Kielmeyera coriacea</i>	3	4,1
<i>Mimosa clausenii</i>	1	1,4
<i>Ouratea hexasperma</i>	20	27,0
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	1	1,4
<i>Qualea grandiflora</i>	3	4,1
<i>Qualea parviflora</i>	5	6,8
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	2	2,7
<i>Symplocos rhamnifolia</i>	1	1,4
<i>Vellozia squamata</i>	5	6,8
<i>Vochysia elliptica</i>	2	2,7
Total	74	100,0

Foram inventariados para a parcela modal, após a quinta queimada prescrita, 696 indivíduos, sendo 629 vivos e 67 mortos. Se incluirmos os 74 indivíduos recrutados que atingiram o diâmetro mínimo estabelecido para o inventário, o resultado final é de 770 indivíduos, sendo 703 vivos e 67 mortos. Há diferença significativa, quando comparada a proporção de indivíduos mortos em relação ao total após as cinco queimadas (9,5%) com a existente na área antes do início do experimento (5,1%).

Após as cinco queimadas, a altura máxima foi de 8,0 m, e os indivíduos com altura

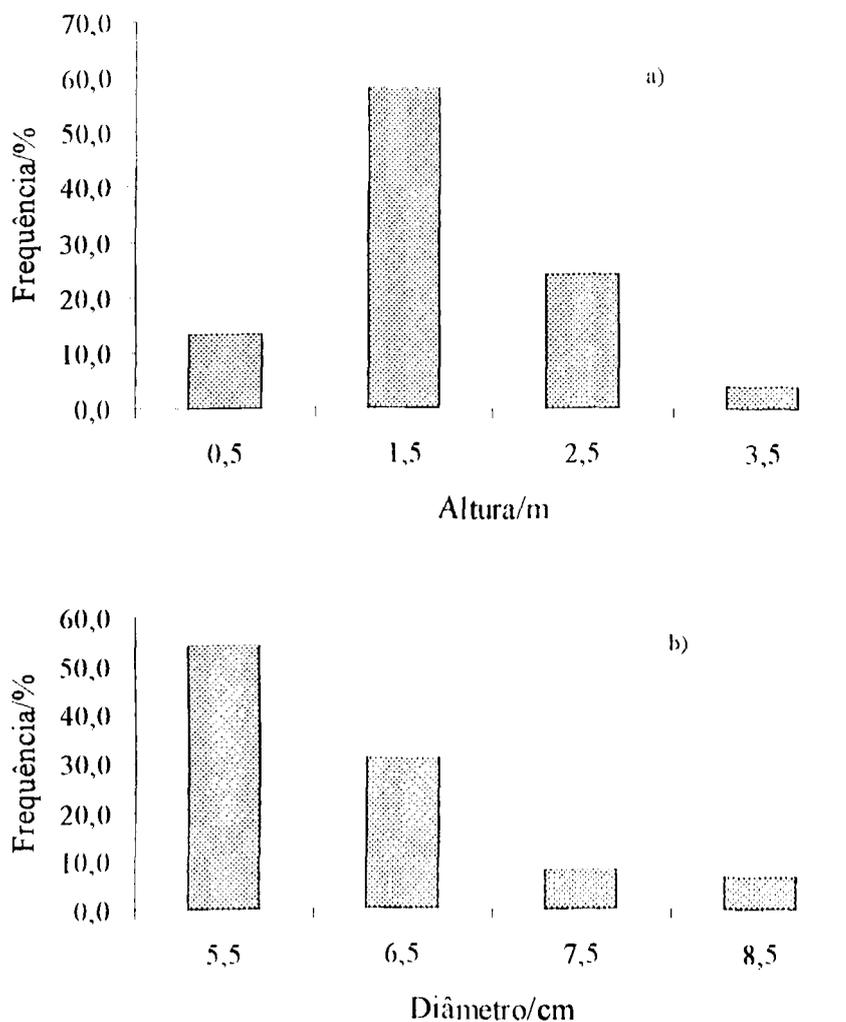


Figura 8. Distribuição de altura (a) e do diâmetro, a 30 cm do solo (b) dos 74 indivíduos recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto* após a realização de cinco queimadas bienais no início de agosto (modal), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

de até 3,0 m representaram $\approx 76\%$ do total (Figura 9a). O diâmetro, a 30 cm do solo, dos indivíduos presentes variou de 4,0 cm a 26,1 cm, devido à combustão da casca ou morte parcial do tronco. Cerca de 40% dos indivíduos apresentaram diâmetros entre 5,0 cm e 7,0 cm, enquanto os indivíduos com diâmetro maior do que 10,0 cm representaram cerca de 22% do total (Figura 9b).

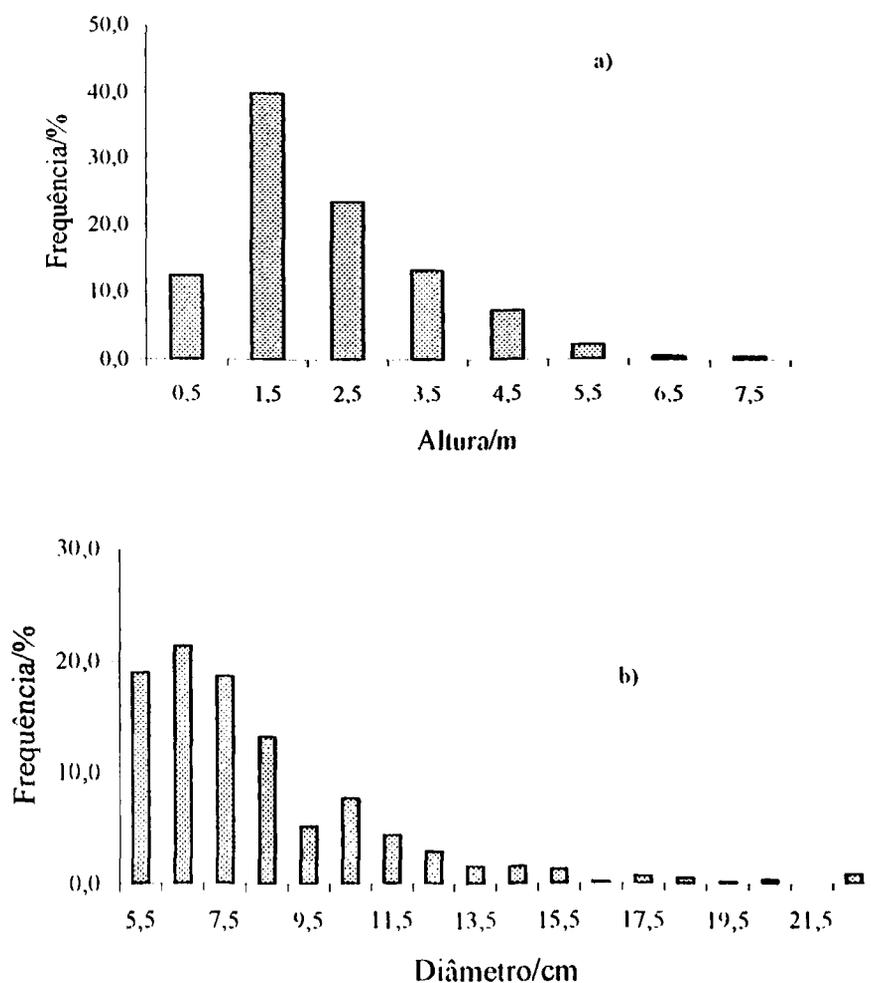


Figura 9. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo após cinco queimadas prescritas no início de agosto (modal) na parcela experimental de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Comparando os índices para as espécies e indivíduos presentes na parcela modal antes e após as cinco queimadas prescritas, incluindo os indivíduos recrutados, podemos observar que o de diversidade de Shannon-Wiener sofre uma redução de 3,38 para 3,25, enquanto o índice de similaridade de Sørensen foi de 0,94 e o de Czenkanowski de 0,75, indicando que a parcela continua similar, floristicamente, ao inventário realizado antes da primeira queimada, porém não tanto quanto a estrutura.

Queimadas no final da seca/início das chuvas - tardia

Um total de 1083 indivíduos foi inventariado antes da realização da primeira queimada prescrita, sendo 1031 indivíduos vivos e 52 mortos, na parcela submetida a queimadas prescritas tardias (0,5 ha). Após as cinco queimadas bienais tardias houve redução para 580 indivíduos vivos e 72 mortos, resultando em uma taxa mortalidade acumulada de $\approx 44\%$. Após a primeira queimada prescrita (1992) o número de indivíduos foi reduzido para 923 vivos e 108 mortos. Enquanto que, foram inventariados 843 indivíduos vivos e 80 mortos após a queimada de 1994; 765 vivos e 78 mortos após a de 1996; 652 vivos e 113 mortos após a de 1998 e 580 vivos e 70 mortos após a de 2000. As taxas de mortalidade determinadas para a parcela submetida ao regime de queima tardia foram de 10,5%; 8,7%; 9,3%; 14,8% e 11,0% para as queimadas realizadas em 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000, respectivamente. Exceto para as taxas de mortalidade encontradas entre as queimadas de 1992/1994 e 1994/1996 (Tabela 11), as demais não são significativamente diferentes entre si ($P < 0,05$).

A mortalidade por espécie apresentou grande variação, sendo que quatro espécies apresentaram 100% de mortalidade, enquanto outros nove não sofreram perda de indivíduos e as demais apresentaram taxas de mortalidade entre 9,1% e 93,8% (Tabela 11).

Os indivíduos das espécies que não sofreram mortalidade representavam 3,0% do total inventariado antes do início das queimadas prescritas e estavam representados por até sete indivíduos por espécie: *Acosmium dasycarpum* (1), *Aspidosperma macrocarpon* (7), *Copaifera langsdorffii* (2), *Couepia grandiflora* (5), *Dimorphandra mollis* (1), *Machaerium opacum* (2), *Miconia ferruginata* (4), *Rourea induta* (3) e *Symplocos rhamnifolia* (1).

Tabela 11. Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no final de setembro de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000 na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992.

Espécie	ni antes da queima	Taxa de mortalidade (%)					Total (%)
		1992	1994	1996	1998	2000	
<i>Aegiphila lhostzkiana</i>	1	0,0	0,0	0,0	100,0		100,0
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	1	0,0	100,0				100,0
<i>Neea theifera</i>	1	0,0	100,0				100,0
<i>Psidium pohlianum</i>	1	0,0	0,0	100,0			100,0
<i>Palicourea rigida</i>	16	25,0	33,3	25,0	66,7	50,0	93,8
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	24	4,2	21,7	22,2	64,3	20,0	83,3
<i>Kielmeyera coriacea</i>	42	14,3	16,7	26,7	45,5	25,0	78,6
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	59	40,7	37,1	13,6	15,8	18,8	78,0
<i>Guapira noxia</i>	19	10,5	0,0	29,4	25,0	33,3	68,4
<i>Erythroxylum suberosum</i>	18	16,7	26,7	27,3	25,0	0,0	66,7
<i>Salacia crassifolia</i>	3	33,3	0,0	0,0	50,0	0,0	66,7
<i>Byrsonima crassa</i>	28	21,4	13,6	5,3	27,8	23,1	64,3
<i>Styrax ferrugineus</i>	163	18,4	7,5	14,6	21,0	21,7	60,1
<i>Guapira graciliflora</i>	5	20,0	25,0	0,0	33,3	0,0	60,0
<i>Austroplenckia polpunea</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0
<i>Butia leiospatha</i>	4	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	50,0
<i>Qualea parviflora</i>	6	33,3	0,0	0,0	0,0	25,0	50,0
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	4	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0
<i>Vellozia squamata</i>	35	5,7	9,1	10,0	14,8	17,4	45,7
<i>Syagrus flexuosa</i>	25	0,0	0,0	0,0	40,0	6,7	44,0
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	16	18,8	15,4	9,1	10,0	0,0	43,8
<i>Connarus suberosus</i>	7	0,0	0,0	14,3	33,3	0,0	42,9
<i>Vochysia elliptica</i>	22	9,1	10,0	11,1	12,5	7,1	40,9
<i>Miconia pohliana</i>	5	20,0	0,0	0,0	25,0	0,0	40,0
<i>Myrsine guianensis</i>	55	1,8	14,8	13,0	12,5	5,7	40,0
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	16	12,5	0,0	21,4	9,1	0,0	37,5
<i>Enterolobium gummiferum</i>	8	12,5	14,3	16,7	0,0	0,0	37,5
<i>Diospyros hispida</i>	14	14,3	16,7	10,0	0,0	0,0	35,7
<i>Ouratea hexasperma</i>	54	0,0	7,4	10,0	11,1	10,0	33,3
<i>Syagrus comosa</i>	3	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3
<i>Tabebuia ochracea</i>	3	0,0	33,3	0,0	0,0	0,0	33,3
<i>Vatairea macrocarpa</i>	3	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3
<i>Eriotheca pubescens</i>	13	7,7	0,0	8,3	9,1	10,0	30,8
<i>Qualea multiflora</i>	13	0,0	0,0	0,0	7,7	25,0	30,8
<i>Roupala montana</i>	53	1,9	7,7	6,3	4,4	14,0	30,2
<i>Bowdichia virgilioides</i>	7	0,0	0,0	28,6	0,0	0,0	28,6
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	28	10,7	4,0	0,0	4,2	13,0	28,6
<i>Lafoensia pacari</i>	15	0,0	0,0	0,0	20,0	8,3	26,7
<i>Dalbergia miscolobium</i>	38	7,9	0,0	2,9	5,9	12,5	26,3

ni = número de indivíduos

continua

Tabela 11. Taxas de mortalidade para espécies lenhosas em área de cerrado *sensu stricto* submetida a queimadas prescritas realizadas no final de setembro de 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000 na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. A área estava protegida contra queima por 18 anos, antes da realização da primeira queimada em 1992 (continuação).

Espécie	ni antes da queima	Taxa de mortalidade (%)					Total (%)
		1992	1994	1996	1998	2000	
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	18	0,0	0,0	0,0	16,7	6,7	22,2
<i>Davilla elliptica</i>	15	0,0	0,0	6,7	7,1	7,7	20,0
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	10	10,0	0,0	0,0	0,0	11,1	20,0
<i>Pterodon pubescens</i>	6	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	16,7
<i>Strychnos pseudoquina</i>	6	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7
<i>Qualea grandiflora</i>	40	5,0	5,3	0,0	2,8	2,9	15,0
<i>Caryocar brasiliense</i>	21	0,0	0,0	4,8	0,0	10,0	14,3
<i>Pouteria ramiflora</i>	7	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	14,3
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	8	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	12,5
<i>Schefflera macrocarpa</i>	44	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	9,1
<i>Acosmium dasycarpum</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Copaifera langsdorffii</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Conopia grandiflora</i>	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Dimorphandra mollis</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Machaerium opacum</i>	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Miconia ferruginata</i>	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Rourea induta</i>	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Symplocos rhamnifolia</i>	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1083	10,5	8,7	9,3	14,8	11,0	43,7

ni = número de indivíduos

Após cinco queimadas bienais prescritas tardias, foi observada a mortalidade de 100% para os indivíduos de quatro espécies, apresentando um indivíduo cada, representam cerca de 0,4% do total amostrado (Tabela 11). Estas espécies foram: *Aegiphila lhostzkiana* (altura de 4,1 m e 8,0 cm de diâmetro), *Erythroxylum tortuosum* (1,1 m de altura e 5,5 cm de diâmetro), *Neea theifera* (1,7 m de altura e 5,4 cm de diâmetro) e *Psidium pohlianum* (4,5 m de altura e 8,0 cm de diâmetro).

A variação na altura e no diâmetro observada para as espécies que sofreram 100% de mortalidade foi também observada para os indivíduos que sofreram mortalidade nas cinco queimadas prescritas realizadas. Cerca de 26% apresentavam altura ente 0,5 e 2,0 m

chegando a aproximadamente 59% dos indivíduos com inferior a 3,0 m (Figura 10a). Embora tenha sido registrada mortalidade em todas as classes de diâmetro, os indivíduos com diâmetro entre 5,0 e 7,0 cm apresentaram as maiores taxas, que variaram de 43% na queimada de 2000 a 59% na de 1992 (Figura 10b).

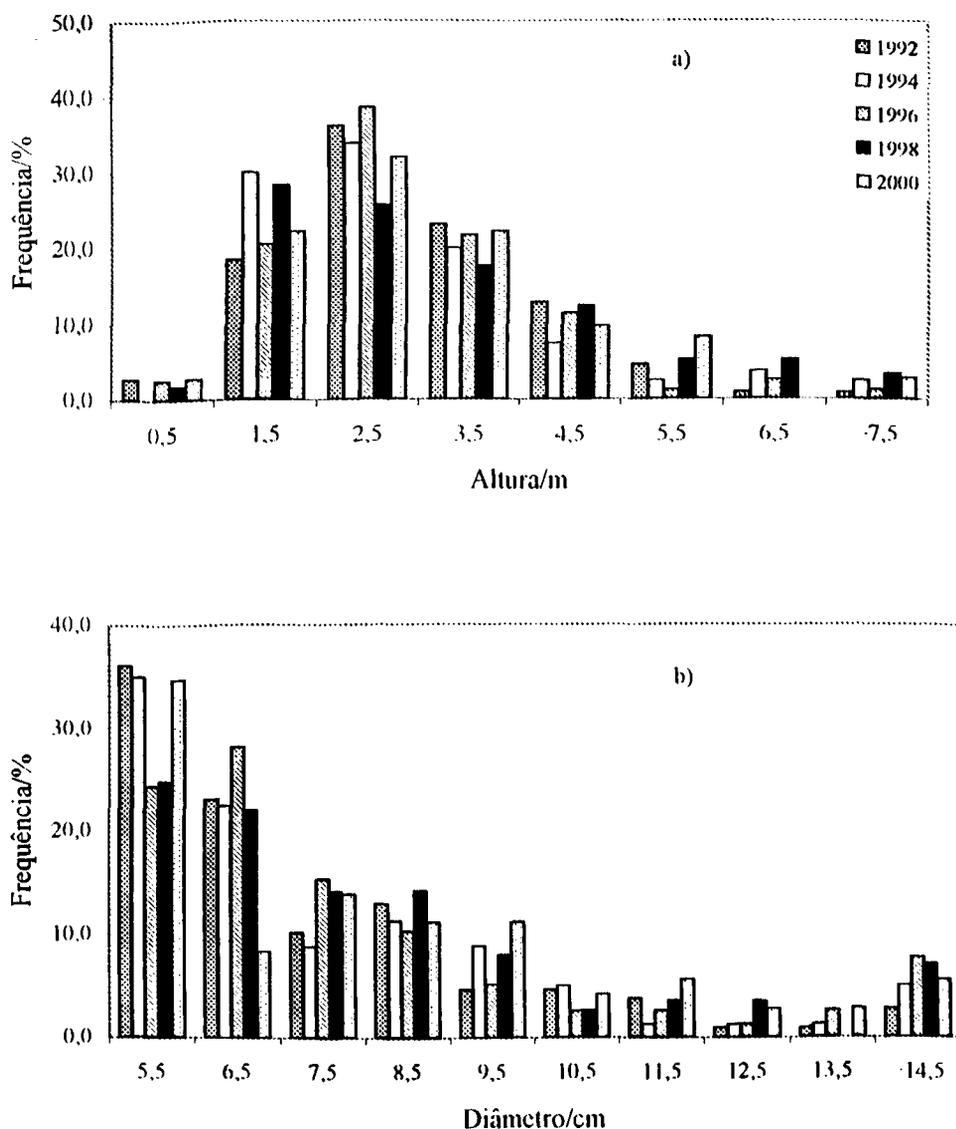


Figura 10. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo e que sofreram mortalidade, presente na parcela experimental de cerrado *sensu stricto* submetida a cinco queimadas prescritas no final de setembro (tardia), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Os indivíduos mortos nas cinco queimadas haviam sofrido dano parcial na queimada anterior, apresentando rebrotas aérea, basal e/ou subterrânea (Tabela 12). Porém, a proporção dos indivíduos com *top kill* variaram de 33,8% como consequência da queimada de 1992 a ≈58% após a queimada de 2000. Foram observadas diferenças significativas entre as proporções de *top kill* para as queimadas de 1994/1996 e entre 1994/2000. Este tipo de análise não pôde ser efetuado para os 108 indivíduos mortos na queimada de 1992, uma vez que estes não apresentavam dano antes da realização da primeira queimada.

Tabela 12. Indivíduos que sofreram mortalidade pela queimada prescrita do ano em questão e que apresentavam *top kill* ou rebrota aérea (Aa) no inventário anterior, na parcela submetida a queima prescrita tardia (setembro) na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Ano da queimada	Indivíduos mortos	Rebrota aérea (%)	<i>Top kill</i> (%)
1992	108	-	-
1994	80	66,2	33,8
1996	78	48,7	51,3
1998	113	54,9	45,1
2000	72	41,7	58,3

As cinco queimadas bienais reduziram em 43,7% o número de indivíduos vivos na área. Entretanto, ao considerarmos também os indivíduos que, no inventário realizado em 2002, apresentavam *top kill* (355 indivíduos), as cinco queimadas bienais tardias resultaram na destruição de 75% dos fustes presentes na área.

No inventário realizado em 2002, após as cinco queimas, foram incluídos todos os indivíduos que, ao longo dos 10 anos do experimento, haviam atingido o diâmetro mínimo de 5,0 cm, a 30 cm do solo, e que não constavam dos inventários anteriores. Foram inventariados 30 indivíduos recrutados distribuídos em 13 espécies. Os indivíduos de *Byrsonima crassa* representaram cerca de 23% desse total (Tabela 13). Sendo que, dois

indivíduos de *Mimosa clausenii* foram recrutados, esta espécie não estava presente no inventário inicial para esta parcela (1,3 m de altura e 5,2 cm de diâmetro e 2,5 m de altura e 5,5 cm de diâmetro).

Tabela 13. Lista das espécies lenhosas recrutadas no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto*, após cinco queimadas prescritas bienais realizadas no final de setembro, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Espécie	ni	(%)
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	1	3,3
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	1	3,3
<i>Byrsonima crassa</i>	7	23,3
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	2	6,7
<i>Connarus suberosus</i>	1	3,3
<i>Davilla elliptica</i>	1	3,3
<i>Mimosa clausenii</i>	2	6,7
<i>Ouratea hexasperma</i>	4	13,3
<i>Qualea grandiflora</i>	4	13,3
<i>Qualea multiflora</i>	1	3,3
<i>Symplocos rhamnifolia</i>	1	3,3
<i>Vellozia squamata</i>	4	13,3
<i>Vochysia elliptica</i>	1	3,3
Total	30	100,0

ni = número de indivíduos

O diâmetro dos 30 indivíduos recrutados variou de 5,0 cm a 7,8 cm, sendo que $\approx 70\%$ dos indivíduos diâmetro menor que 6,0 cm, e a altura variou de 0,5 m a 2,7 m (Figura 11).

Após a queimada de 2000, restavam na área 652 indivíduos, sendo 580 vivos e 72 mortos. Ao adicionarmos os 30 indivíduos recrutados que atingiram o diâmetro mínimo estabelecido para o inventário, resultaram 682 indivíduos, sendo 610 vivos e 72 mortos. Foi observada diferença significativa, ao compararmos a proporção de indivíduos mortos em relação ao total após as cinco queimadas (10,6%), com a existente na área antes do início do experimento (4,8%).

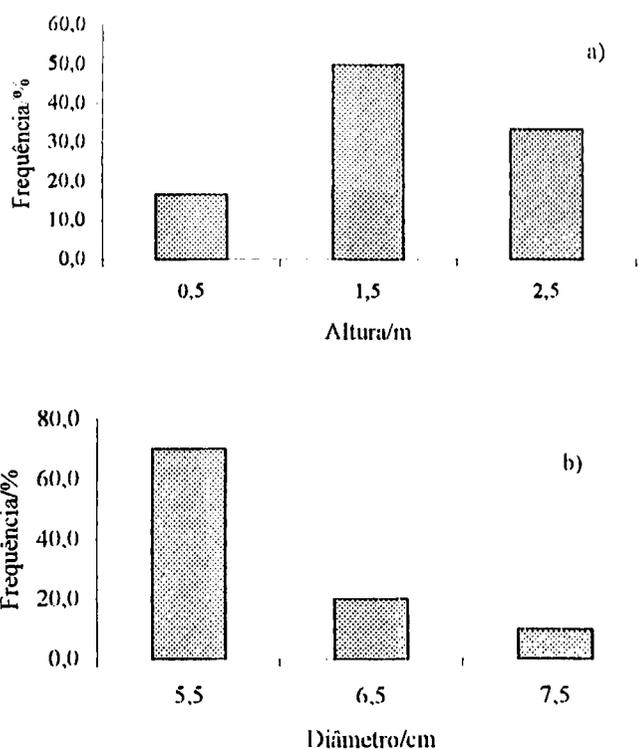


Figura 11. Distribuição de altura (a) e do diâmetro, a 30 cm do solo (b) dos 30 indivíduos recrutados no inventário de uma área de cerrado *sensu stricto* após a realização de cinco queimadas bienais no final de setembro (tardia), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Após cinco queimadas, a altura máxima foi de 10,5 m e cerca de 71% dos indivíduos apresentavam altura de até 3,0 m (Figura 12a). O diâmetro dos indivíduos presentes, a 30 cm do solo, variou de 4,0 cm a 26,1 cm, devido à combustão da casca ou morte parcial do tronco, sendo que cerca de 41% dos indivíduos apresentaram diâmetros entre 5,0 cm e 7,0 cm, enquanto os indivíduos com diâmetro maior do que 10,0 cm representaram cerca de 23% do total (Figura 12b).

Comparando os índices para as espécies e indivíduos presentes na parcela tardia antes e após as cinco queimadas prescritas, incluindo os indivíduos recrutados, podemos observar que o de diversidade de Shannon-Wiener sofre um aumento de 3,44 para 3,49, enquanto o índice de similaridade de Sørensen foi de 0,96 indicando que a parcela continua

similar floristicamente ao inventário realizado antes da primeira queimada. O índice de Czenkanowski foi de 0,74. Considerando que estamos comparando a mesma área antes e após as queimadas pode-se notar um indicativo de não semelhança quanto à estrutura da comunidade.

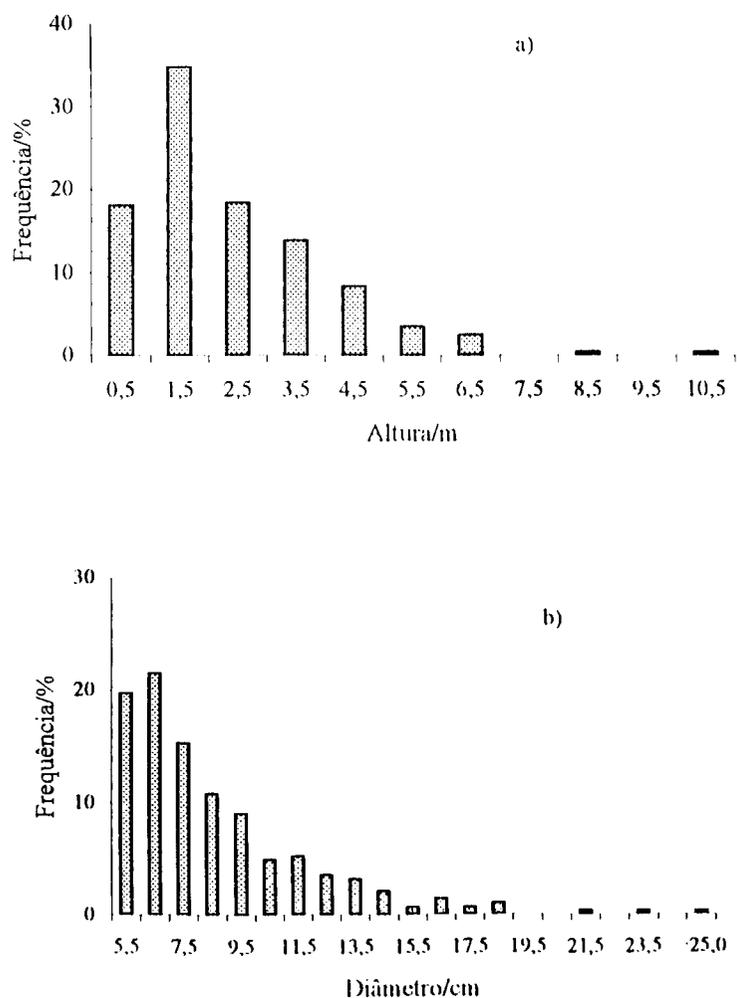


Figura 12. Frequência relativa para a altura (a) e o diâmetro (b) dos indivíduos do estrato arbóreo-arbustivo após cinco queimadas prescritas no final de setembro (tardia) na parcela experimental de cerrado *sensu stricto*, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Parcelas experimentais: precoce, modal e tardia

Foi observada grande variabilidade nas taxas de mortalidade entre queimadas para uma mesma área (Tabelas 3, 7, 11) e também entre áreas, tal qual relatado por Whelan *et al.* (2002) para savanas Australianas. Ao compararmos as taxas de mortalidade para a primeira queimada entre as três áreas (12,8% para a parcela precoce, 12,1% e 10,5% para a modal e tardia), não foi observada diferença significativa entre as mesmas. Isto era esperado uma vez que as três parcelas experimentais eram semelhantes florística e estruturalmente (Tabela 1) e estavam protegidas contra queima por 18 anos, não apresentando, portanto, danos diferenciados que pudessem influir significativamente nas taxas de mortalidade. Souza & Soares (1983) registraram mortalidade de 18,4% dos indivíduos em um cerradão (Pirassununga, SP), após fogo acidental em uma área que havia sido protegida contra queima por 50 anos. Fechner *et al.* (2000) determinaram a mortalidade de 6,3% dos indivíduos após um incêndio em uma área de cerrado *sensu stricto* (Brasília, DF). Rocha e Silva (1999) e Medeiros (2002) observaram mortalidade de 9,7% e 22% para a vegetação lenhosa de campo sujo (Brasília, DF) após queimadas em áreas protegidas contra o fogo por 17 e 23 anos, respectivamente. Entretanto, Ramos (1990) e Hoffmann & Solbrig (2003) sugerem que a queima não causa mortalidade significativa a curto prazo em plantas já estabelecidas.

As variações nas taxas de mortalidade, entre 4,4% a 14,1% na parcela precoce, 5,4% a 18,8% na modal e de 8,7% a 14,7% na tardia, estão no intervalo de variação estimado para impactos de sucessivas queimadas (anuais, bienais e quadrienais) na vegetação lenhosa de campo sujo (Rocha e Silva 1999, Medeiros 2002). Trapnell (1959) determinou diferentes taxas de mortalidade de plantas lenhosas em savanas africanas submetidas a queimadas no início da estação seca (0,64%) e no final (1,58%) da estação seca. Taxas de mortalidade para árvores da savana tropical australiana foram

determinadas por Williams (1995) e variaram entre 7,6% para queimadas no início da estação seca até 15,4% para queimadas realizadas no final da estação seca. Williams *et al.* (1999) determinaram, para vegetação lenhosa da savana tropical no norte da Austrália, taxas de mortalidade de 13% e 18% para queimadas realizadas no início e final da estação seca e de 16% para um fogo acidental.

Rocha e Silva (1999), ao estudar a taxa de mortalidade de lenhosas (diâmetro a 30 cm do solo superior a 5,0 cm) em área de campo sujo submetida a três queimadas bienais no início de agosto, após 18 anos de proteção, registrou taxas de mortalidade 5,2%, 7,5% e 9,8%, com uma redução de 20,9% no número de indivíduos vivos após os 6 anos de observações. Para uma área submetida a um regime quadrienal de queima, as mortalidades foram de 9,7% e 12,3%, com uma redução de 20,8% no número de indivíduos vivos na área. Medeiros (2002) registrou mortalidades de 22,5%, 7,5% e 10,5% em estudo sobre o impacto de três queimadas prescritas anuais, no início de agosto, na vegetação lenhosa (diâmetro a 30 cm do solo superior a 2,0 cm) de campo sujo. Medeiros (2002) concluiu que a alta taxa de mortalidade após a primeira queimada refletiu a mortalidade de indivíduos com diâmetro inferior a 5,0 cm, que representavam cerca de 93% dos indivíduos mortos na primeira queimada. Porém, se apenas os indivíduos com diâmetro acima de 5,0 cm fossem considerados, a mortalidade seria reduzida para 2,2% após a primeira queimada e o total de indivíduos mortos após as três queimadas seria de 20,2%. Estes resultados indicam que, independente do intervalo entre queimadas, as taxas de mortalidade são semelhantes em áreas de campo sujo submetidas a queimadas prescritas no início de agosto.

Neste trabalho, em áreas de cerrado *sensu stricto*, as três primeiras queimadas bienais resultaram em uma mortalidade acumulada 23,5% para a parcela precoce, 25,0% para a modal e 25,8% para a tardia (não sendo diferentes entre si $P < 0,05$, diferenças

significativas entre as taxas acumuladas de mortalidade só foram determinadas a partir da quarta queimada), estes valores são similares aos determinados por Rocha e Silva (1999) e Medeiros (2002) para campo sujo queimado em agosto. Após as cinco queimadas, a taxa acumulada de mortalidade foi de 38,7% para a parcela precoce, 45,0% para a modal e 43,7% para a tardia. Estatisticamente foi determinada diferença significativa entre a mortalidade acumulada na parcela precoce e as demais. Todavia, não há diferença significativa entre a mortalidade na parcela modal e tardia. Estas taxas podem estar refletindo o impacto diferenciado do fogo nas várias espécies presentes em cada área.

Excluindo as espécies que não apresentaram mortalidade ou as que tiveram 100% dos indivíduos mortos, as taxas de mortalidade por espécie apresentaram grande variação, de 2% a 54% após a primeira queimada. De forma geral, as taxas por espécie variam de acordo com as sucessivas queimadas (Tabelas 3, 7, 11) e também com a época da queima. Resultados semelhantes, considerando o impacto de queimadas sucessivas nas taxas de mortalidade, também foram obtidos por Armando (1994), Silva *et al.* (1996) e Medeiros (2002). Armando (1994) investigou o efeito do fogo em indivíduos lenhosos de nove espécies em áreas de cerrado *sensu stricto*, determinou que as taxas de mortalidade aumentaram significativamente nas plantas submetidas a duas queimadas em regime anual (5,0%), em comparação às submetidas a apenas uma queima (1,0%). Na área submetida a apenas uma queima, somente *Dalbergia miscolobium* apresentou mortalidade (5,7%) e nenhuma alteração foi observada no número de indivíduos vivos das demais espécies. Na área submetida a duas queimas, as taxas de mortalidade variaram de 1,6% a 15,8% e apenas três espécies (*Caryocar brasiliense*, *Hymenaea stigonocarpa* e *Virola sebifera*) não apresentaram mortalidade.

Porém, a taxa de mortalidade de *D. miscolobium* aumentou para 12,2% após a segunda queimada.

Silva *et al.* (1996) em estudo sobre efeito de queimadas bienais em área de campo sujo, apresentaram taxa de mortalidade para 30 espécies lenhosas. Após a primeira queimada, as taxas variaram de 2,9% a 40,0%, excluindo as espécies que não apresentaram mortalidade (19) ou que tiveram 100% dos indivíduos mortos (1). Após a segunda queima, as taxas variaram de 7,1% a 50,0%, refletindo o efeito dos danos sofridos na queimada anterior. Como consequência dos danos, o número de espécies que não apresentaram mortalidade foi reduzido para 14 e o de espécies com 100% de mortalidade aumentou para três. Medeiros (2002), determinou taxas variando de 7,6% a 50,0% ao investigar o efeito de três queimadas anuais em 38 espécies lenhosas em área de campo sujo.

A variação nas taxas de mortalidade pode também estar refletindo a fenofase de cada espécie, uma vez que grande parte da vegetação lenhosa lança suas folhas ou floresce a partir do início da estação seca (Miranda 1995; Oliveira & Gibbs 2000; Silberbauer-Gottsberger 2001). Assim, grande parte de suas reservas foi investida na produção de novas folhas, flores e frutos, ocorrendo uma redução na disponibilidade destes para a recuperação da vegetação. Williams *et al.* (1999) reportaram taxas de sobrevivência variando entre 97 até 36%, sendo que das 30 espécies encontradas, 12 apresentam 100% de sobrevivência e duas espécies nenhuma sobrevivência. Porém, comparando os grupos funcionais e época da queima, os grupos de eucaliptos (decíduos e sempre-verdes) e árvores decíduas, as taxas de sobrevivência são superiores para as queimadas no começo da estação seca, enquanto para acácias e palmeiras as taxas de sobrevivência são maiores para queimadas no final da estação seca.

Taxas de mortalidade após a ocorrência de queimadas também são apresentadas para plântulas. Miyanishi & Kellman (1986) reportaram que plântulas de *Miconia albicans* com altura inferior a 4,3 cm sofreram cerca de 40% de mortalidade após queimadas. Oliveira & Silva (1993) observaram que cerca de 5% de plântulas de *Kielmeyera coriacea* morreram como consequência de fogo acidental na primeira estação seca após o estabelecimento. Para plântulas e indivíduos jovens de *Blepharocalyx salicifolius*, Matos (1994) determinou taxas de mortalidade de 90% e 50%, respectivamente. Cerca de 10% de plântulas e 4% de juvenis rebrotaram a partir da base. Matos (1994) estimou como 50 cm a altura e 0,6 cm o diâmetro o tamanho mínimo para a sobrevivência de juvenis. Hoffmann (1998) determinou taxas de mortalidade variando de 33% a 100% para plântulas de *M. albicans*, *Myrsine guianensis*, *Roupala montana*, *Periandra mediterranea* e *Rourea induta*. Braz *et al.* (2000) determinaram que cerca de 14% de plântulas morreram após uma queimada acidental, no final da estação seca, e que as sobreviventes rebrotaram a partir da base. Estas observações sugerem que, para plântulas e indivíduos jovens, a estratégia de escape ao fogo é a mesma que para o escape à seca, ou seja, um rápido desenvolvimento do sistema radicular com acúmulo de água e amido (Oliveira & Silva 1993), que seria utilizado para a recuperação da parte vegetativa. O armazenamento e utilização do amido como substância de reserva nos tecidos subterrâneos é também apresentada por Kellman (1986) e Bell *et al.* (1996) como estratégia para escape ao fogo. Todavia, o regime com alta frequência de queima pode resultar numa depleção das reservas, diminuindo a capacidade de rebrotamento. Cardinot (1998), em estudos sobre o rebrotamento de *Kielmeyera coriacea* e *Roupala montana* submetidas a queimadas bienais, sugeriu que a mortalidade de alguns indivíduos foi consequência da herbivoria e da redução na reserva de nutrientes. Medeiros (2002) comparando a concentração de

amido em indivíduos de *Davilla elliptica* e *Styrax ferrugineus* (espécies que apresentam grande capacidade de rebrota após queima) em áreas queimada e não queimada, observou que havia menor distribuição de amido nos indivíduos da área que havia sofrido queima há três meses, sugerindo a utilização do amido no processo de rebrota.

Para indivíduos de maior porte, apenas Cirne (2002) apresentou resultados de mortalidade, ao estudar o efeito do fogo em populações de *Kielmeyera coriacea* submetidas a queimadas bienais no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca. Nenhuma alteração foi observada para os indivíduos submetidos a queima no início da estação seca. Porém, houve mortalidade acumulada de 12,3% e 4,0% para os indivíduos submetidos a queima no meio e final da estação seca. As queimadas modal e tardia resultaram em mortalidade de 8,3% e 5,1% dos indivíduos jovens (altura menor do que 1,5 m) e de 38,0% e 35,7% dos indivíduos adultos. Para indivíduos adultos, uma das estratégias de escape ao fogo é o isolamento térmico oferecido pela casca. A espessura mínima de 6 a 8 mm para a proteção efetiva do câmbio foi determinada por Guedes (1993) e Rocha e Silva & Miranda (1996), sugerindo que o fogo atua de forma diferenciada no fuste principal e nos ramos, sendo os últimos mais suscetíveis ao contato com as chamas ou a exposição prolongada à coluna de ar quente acima da zona de chamas. Hoffmann & Solbrig (2003), em estudo com sete espécies lenhosas do Cerrado, estimaram espessura mínima de casca entre 6 e 7 mm para que ocorra 50% de sobrevivência dos fustes ou ramos em queimadas de baixa intensidade e entre 9 e 13 mm para as de alta intensidade. Entretanto, Guedes (1993) sugere que, como consequência dos diferentes tipos de fendilhamento e condutividade térmica da casca da vegetação lenhosa do Cerrado, o fogo atuará de forma diferenciada em cada espécie. Embora a casca ofereça proteção efetiva contra as altas temperaturas, as queimadas sucessivas podem resultar na diminuição desta proteção, como

conseqüência do consumo da casca durante a passagem da frente de fogo. Após as cinco queimadas prescritas, foram observadas a diminuição no diâmetro mínimo dos indivíduos inventariados em 1990, de 5,0 cm para 3,5 cm na parcela precoce e 4,0 cm nas parcelas modal e tardia.

Taxas de mortalidade têm sido associadas aos parâmetros que descrevem o comportamento do fogo, ou seja, velocidade da frente de fogo, intensidade da frente de fogo, calor liberado por unidade de área e temperatura do ar durante as queimadas (Luke & McArthur 1978; Whelan 1995; Sato 1996; Hoffmann & Solbrig 2003). De forma geral, para as 15 queimadas prescritas realizadas neste estudo, a eficiência de combustão, isto é, a proporção do combustível consumido foi elevada, sendo, em média 94% para a parcela precoce, 93% para a modal e 85% para a tardia, independente do número de dias sem chuva, da precipitação ou do teor de água no combustível (Tabelas 14, 15, 16). Não foi obtida relação entre taxas de mortalidade e os parâmetros mensurados para as queimadas, embora as queimadas de agosto e setembro tenham apresentado valores mais próximos de velocidade da frente de fogo e calor liberado do que as queimadas de junho. As temperaturas do ar durante as queimadas estão no intervalo determinado por Miranda *et al.* (1993, 1996) para as queimadas de Cerrado, apresentando, em média, os valores mais elevados a 60 cm do solo. Trollope *et al.* (2002) concluíram que para as savanas africanas as árvores e arbustos são bastante resistentes ao fogo e que apenas o *top kill* está relacionado à intensidade da frente de fogo e Williams *et al.* (1999) encontraram relações significativas entre mortalidade e intensidade da frente de fogo para espécies lenhosas das savanas australianas. Entretanto, a análise destas relações deve ser considerada com cautela, uma vez que a relação entre intensidade e *top kill* só poderia ser investigada para os danos sofridos na primeira queima, assim, na queimada seguinte o indivíduo seria representado pelas

rebrotas basais ou subterrâneas e, conseqüentemente, apresentarão altura, diâmetro e espessura de casca distintos dos da queimada anterior, reforçando assim a observação de maior ocorrência de *top kill* nos indivíduos de pequeno porte, como determinado por Hoffmann & Solbrig (2003) para sete espécies lenhosas do Cerrado.

Tabela 14. Comportamento do fogo para queimadas prescritas realizadas no início da estação seca (junho), em área de cerrado *sensu stricto* na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados).

Parâmetro	Ano da queimada		
	1992	1996	2000
Dias sem chuva	62	34	60
Precipitação (mm)	3,1	13,2	9,2
Tar (°C)	23,7	30,0	31,5
UR (%)	30,5	20,0	27,1
Vento (m/s)	0,5-1,5	0,0-1,8	0,03
Eficiência de combustão (%)	97	92	93
Água no combustível (%)			
Vivo	128	131	122
Morto	34	31	24
Temperatura (°C)			
1 cm	758	659	332
60 cm	360	506	519
160 cm	322	607	144
Velocidade da frente de fogo (m/s)	0,15	0,33	0,11
Intensidade da frente de fogo (kJ/(ms))	2813	9923	2302
Calor liberado (kJ/m ²)	18755	30070	20925

Os parâmetros não foram determinados para as queimadas de 1994 e 1998.

Tabela 15. Comportamento do fogo para queimadas prescritas realizadas no meio da estação seca (agosto), em área de cerrado *sensu stricto* na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados).

Parâmetro	Ano da queimada				
	1992	1994	1996	1998	2000
Dias sem chuva	98	54	1	64	116
Precipitação (mm)	3,1	19,4	32,1	5,6	9,2
Tar (°C)	34	22,2	30	34,7	32
UR (%)	20,5	37	35	22,2	21,9
Vento (m/s)	0,5-1,5	2,7	1,4-1,8	0,6	0,3
Eficiência de combustão (%)	91	90	95	99	89
Água no combustível (%)					
Vivo	141	125	141	140	86
Morto	33	31	24	16	16
Temperatura (°C)					
1 cm	583	563	621	72	749
60 cm	884	662	696	827	
160 cm	721	438	706	449	116
Velocidade da frente de fogo (m/s)	0,33	0,41	0,48	0,20	0,37
Intensidade da frente de fogo (kJ/(ms))	4655	6228	7663	9231	5219
Calor liberado (kJ/m ²)	14105	15190	15965	21979	14105

Tabela 16. Comportamento do fogo para queimadas prescritas realizadas no final da estação seca (setembro), em área de cerrado *sensu stricto* na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados).

Parâmetro	Ano da queimada				
	1992	1994	1996	1998	2000
Dias sem chuva	19	97	12	99	4
Precipitação (mm)	21,8	19,4	13,8	5,6	5,8
Tar (°C)	30	30	30	35,5	28,6
UR (%)	33,7	36	35	27	33,4
Vento (m/s)	0,7	1,0	<0,9	0,7-2,3	2,0
Eficiência de combustão (%)	68	96	95	71	95
Água no combustível (%)					
Vivo	158	162	141	164	195
Morto	27	13	24	9	14
Temperatura (°C)					
1 cm	493	440	423	653	
60 cm	261	837	743	453	
160 cm	174	766	482	288	
Velocidade da frente de fogo (m/s)	0,10	0,60	0,48	1,08	0,33
Intensidade da frente de fogo (kJ/(ms))	1875	8742	7663	14396	5985
Calor liberado (kJ/m ²)	18750	14570	15965	13330	18135

A quantificação dos danos sofridos pela vegetação, para avaliar o impacto do regime de queima na vegetação lenhosa do cerrado *sensu stricto*, varia entre queimadas e entre áreas. Na parcela submetida a queimadas no início de junho, mais de 80% dos indivíduos sofreram danos leves, apresentando rebrotas aéreas. Apenas 6,7% dos indivíduos sofreram danos moderados (Tabela 17). Para a parcela com queima em meados da estação seca (agosto) houve aumento no número de indivíduos com danos moderados (24,5%) e redução para as rebrotas aéreas (64,3%). Os danos moderados ocorreram com maior frequência na parcela submetida a queimadas no final da estação seca (setembro), sendo em média 35,2% e atingindo valor de 49,4% após a queimada de 2000. Poucos são os trabalhos que quantificam os danos sofridos pela vegetação lenhosa após queimadas. Para cerradão, protegido de queima por 50 anos, em Emas (Pirassununga, SP), Souza & Soares (1983) registraram que cerca de 77% dos indivíduos apresentavam *top kill* e apenas 3% de rebrotas aéreas. Ramos (1990), investigando o impacto do fogo na vegetação de área de cerrado *sensu stricto* (Brasília, DF), protegida de queima por 13 anos, observou que cerca de 35% dos indivíduos arbóreos sofreram *top kill*, e que entre 87% e 97% destes indivíduos apresentavam altura inferior a 128 cm. Para campo sujo, as rebrotas aéreas representaram sempre a resposta principal ao fogo, independente do regime de queima, bienal ou quadrienal (Rocha e Silva 1999), sendo que o *top kill* foi no máximo 19% na parcela bienal e 27% na quadrienal.

Medeiros (2002), investigando o efeito do fogo nos padrões de rebrotamento em plantas lenhosas do Cerrado, mostrou que cerca de 70% das rebrotas que morreram em consequência de queimadas apresentaram altura de até 50 cm, estando assim, na zona de temperaturas máximas determinadas para queimadas de Cerrado (Miranda *et al.* 1993, 1996). Cerca de 90% destas rebrotas apresentaram diâmetro basal de até 2,0 cm,

Tabela 17. Danos sofridos pela vegetação lenhosa de áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a cinco queimadas bienais no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca. Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Ano	Precoce			Modal			Tardia		
	Aérea (%)	Top kill (%)	Morte (%)	Aérea (%)	Top kill (%)	Morte (%)	Aérea (%)	Top kill (%)	Morte (%)
1992	81,0	6,2	12,8	47,9	40,0	12,1	74,3	15,2	10,5
1994	86,2	5,6	8,2	74,0	20,6	5,4	60,8	30,6	8,7
1996	88,5	7,1	4,4	70,9	19,1	10,0	54,2	36,5	9,3
1998	79,3	6,6	14,1	60,9	20,3	18,8	40,8	44,4	14,8
2000	85,1	8,2	6,7	67,8	22,6	9,6	39,6	49,4	11,0

Aérea = rebrotas aéreas; top kill = morte do fuste principal com rebrotas basais ou subterrâneas.

indicando que as rebrotas não apresentaram proteção efetiva da casca contra altas temperaturas. Estas taxas de mortalidade para rebrotas podem explicar as altas taxas de mortalidade para os indivíduos que apresentaram *top kill* (Tabelas 5, 9, 12) e também para os indivíduos nas menores classes de altura e diâmetro.

A elevada porcentagem de fustes destruídos (mortos + *top kill*), principalmente nas parcelas submetidas à queima em agosto e setembro, 59% e 75% respectivamente sugerem uma modificação na estrutura e conseqüentemente na fisionomia das áreas para formas mais abertas. Entretanto, esta seria uma afirmativa errônea, já que as rebrotas dos indivíduos que sofreram *top kill* não conseguem ultrapassar a matriz graminosa, uma vez que, para muitas espécies, a taxa de crescimento da parte aérea é baixa. Armando (1994), ao analisar o crescimento de rebrotas de indivíduos de pequeno porte de nove espécies lenhosas do cerrado, registrou que, em áreas submetidas a queima anual, não ocorreu redução na altura que variou de 3,3 a 30,8 cm, dependendo da espécie. Na área submetida a queima bienal, foi registrado um crescimento máximo de 28,5 cm, mas que, nas duas situações, as rebrotas basais ou as subterrâneas apresentavam altura inferior a 50 cm. Medeiros (2002) observou que cerca de 50% das rebrotas basais ou subterrâneas em indivíduos que haviam sofrido *top kill*, em áreas de campo sujo submetidas a queimadas anuais, apresentavam comprimento da rebrota

inferior a 50 cm, e que 60% destas rebrotas morrem após a ocorrência de queimadas. A exclusão do fogo por um período prolongado favoreceria o crescimento destas rebrotas, assim como as de plântulas e indivíduos jovens (Oliveira & Silva 1993; Matos 1994; Hoffmann 1998; Braz *et al.* 2000), permitindo a recuperação do estrato lenhoso e a manutenção da fisionomia original. Felfili *et al.* (2000) mostraram que, em área de cerrado *sensu stricto* onde ocorreu uma queima acidental, houve redução no número de indivíduos, mas que 4 anos após, foi observada a manutenção da composição pré-queima de espécies, da distribuição espacial e da estrutura da comunidade.

Desta forma, a elevada frequência de queima e a época da queima, associada a fenofase das diferentes espécies, e as baixas taxas de crescimento, resultam nas diferentes taxas de mortalidade e de *top kill* na vegetação das parcelas estudadas.

Estimativa de biomassa

Antes das queimadas, a biomassa aérea da vegetação lenhosa nas áreas experimentais variou de 15,4 t/ha, na parcela precoce, a 19,2 t/ha, na tardia (Tabela 18).

Os indivíduos mortos representaram cerca de 4,0% do total da biomassa das árvores vivas.

Tabela 18. Biomassa aérea da vegetação lenhosa em áreas de cerrado *sensu stricto* em parcelas a serem submetidas a queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final da estação seca (tardia), na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Parcela	Biomassa aérea (t/ha)			Total
	Árvores		Arbustos	
	Vivo	Morto		
Precoce	13,3	0,6	1,5	15,4
Modal	14,7	0,5	1,7	16,9
Tardia	16,6	0,7	1,9	19,2

Árvores = indivíduos com diâmetro, a 30 cm do solo, superior ou igual a 5 cm.

Arbustos = 10,9% da biomassa dos indivíduos com diâmetro, a 30 cm do solo, superior a 5 cm (Ottmar *et al.* 2001).

Os valores de biomassa aérea de lenhosas para cerrado *sensu stricto* apresentados na literatura variam de 12,4 t/ha (Vale 2000) a 30,1 t/ha (Imaña-Encinas *et al.* 1995). Esta diferença pode refletir a variabilidade nas formas fisionômicas, na densidade de árvores dentro de uma mesma fisionomia, do intervalo entre queimadas e dos métodos de amostragem. Poucos valores foram determinados pelo método destrutivo (Santos 1988; Silva 1990; Imaña-Encinas *et al.* 1995; Vale 2000). Mesmo assim, a comparação dos valores apresentados torna-se difícil, devido aos diferentes critérios de amostragem. Santos (1988) e Silva (1990) determinaram valores de 28,9 t/ha e 21,4 t/ha, respectivamente, incluindo o peso de folhas, flores e frutos. Vale (2000) considerando apenas a biomassa de troncos e ramos determinou um valor de 12,4 t/ha. Além disso, Silva (1990), Imaña-Encinas *et al.* (1995) e Vale (2000) consideraram somente os indivíduos com diâmetro, a 30 cm do solo, igual ou superior a 5 cm, enquanto Santos (1988) mediu somente aqueles indivíduos com DBH superior a 6 cm.

Antes das queimadas de 1992, a biomassa do estrato herbáceo foi de $11,1 \pm 0,9$ t/ha na parcela precoce, $8,8 \pm 0,5$ t/ha na modal e $6,4 \pm 0,9$ t/ha na tardia, não havendo diferença significativa ($P < 0,05$) entre os valores determinados para as parcelas precoce e modal. Estes valores representavam cerca de 72,0% do total de biomassa lenhosa na parcela precoce, 52,0% na modal e 33,0% na tardia.

As folhas mortas representavam o principal componente da biomassa do estrato herbáceo (36,0% a 48,0%), o que pode estar refletindo o longo período de proteção contra o fogo, uma vez que a taxa de decomposição para a vegetação do Cerrado é baixa (Silva 1983). As gramíneas mortas representavam entre 25,0% e 35,0% do total de biomassa deste estrato (Figura 13).

Ao adicionarmos a biomassa do estrato herbáceo aos valores determinados para a vegetação lenhosa chegou-se ao total de 26,5 t/ha para a parcela precoce, 25,7 t/ha para a modal e 25,6 t/ha para a tardia. Valores semelhantes aos apresentados por Abdala *et al.* (1998) e Ottmar *et al.* (2001) para cerrado *sensu stricto* (26,0 t/ha a 33,0 t/ha).

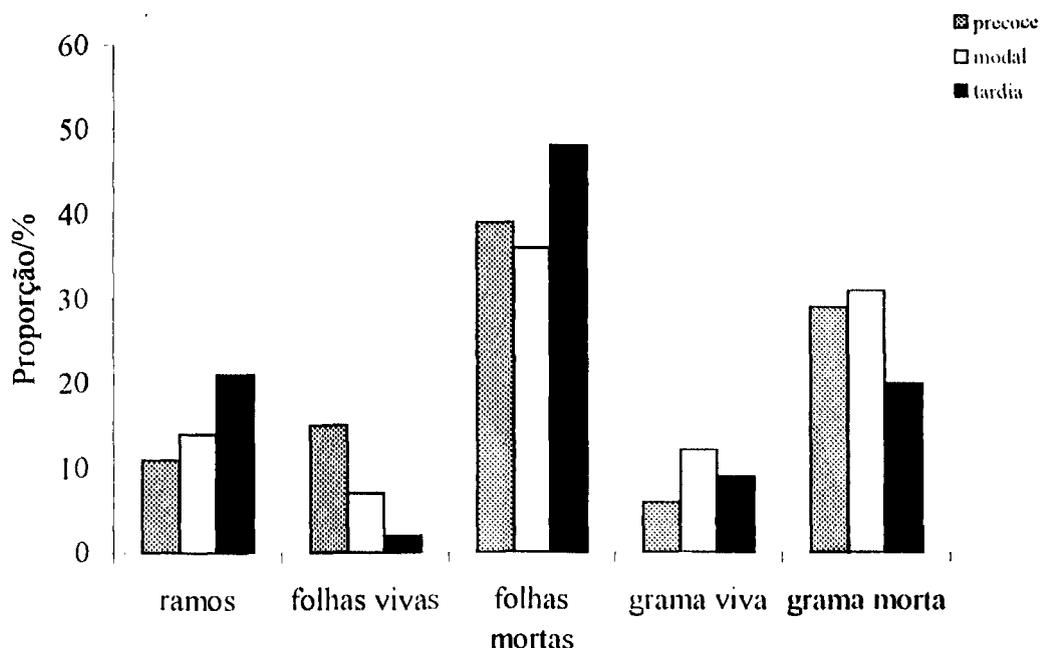


Figura 13. Composição da biomassa do estrato herbáceo em áreas de cerrado *sensu stricto* protegidas de queima por 18 anos. As áreas seriam submetidas a queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados).

Após as cinco queimadas prescritas, a biomassa de lenhosas foi reduzida para 14,3 t/ha na parcela precoce, 10,5 t/ha na modal e 9,1 t/ha na tardia (Tabela 19). Os indivíduos mortos representaram cerca de 17,0% da biomassa de lenhosas na parcela precoce, 25,0% na modal e 72,0% na tardia.

A redução na biomassa de lenhosas após as cinco queimadas foi de 7,1% para a parcela precoce, 37,9% na modal e 52,6% na tardia.

Tabela 19. Biomassa aérea da vegetação lenhosa em áreas de cerrado *sensu stricto* em parcelas submetidas a cinco queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final da estação seca (tardia) desde 1992, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Parcela	Biomassa aérea (t/ha)			Total
	Árvores		Arbustos	
	Vivo	Morto		
Precoce	11,8	2,0	0,5	14,3
Modal	8,1	2,0	0,4	10,5
Tardia	5,1	3,7	0,3	9,1

Árvores = indivíduos com diâmetro, a 30 cm do solo, superior ou igual a 5 cm.

Arbustos = 3,5% da biomassa dos indivíduos com diâmetro, a 30 cm do solo, superior a 5 cm (Ottmar *et al.* 2001).

Em 2000, a biomassa do estrato herbáceo foi de $7,9 \pm 1,0$ t/ha, na parcela precoce, $7,0 \pm 0,64$ t/ha na modal e $8,1 \pm 0,7$ t/ha na tardia. Não foi determinada diferença significativa ($P < 0,05$) entre as biomassas das três parcelas. Entretanto, foi determinada diferença significativa entre os valores de 1992 e 2000, indicando que houve redução na biomassa do estrato herbáceo nas parcelas precoce e modal e aumento da biomassa herbácea da parcela tardia. Após as cinco queimadas, a biomassa do estrato herbáceo passa a representar cerca de 55,0% da biomassa de lenhosas na parcela precoce, 67,0% na modal e 89,0% na tardia.

Em 1992, em todas as parcelas, o principal componente da biomassa do estrato herbáceo eram as folhas mortas. Em 2000, como consequência das cinco queimadas e dos diferentes impactos na estrutura da vegetação, as parcelas apresentaram diferentes composições nesta biomassa (Figura 14). Para a parcela precoce, que apresentou a menor mortalidade e, conseqüentemente a menor perda de biomassa de lenhosas, as folhas mortas continuaram a ser o principal componente da biomassa herbácea, não havendo alteração na quantidade do componente gramíneo (vivo + morto). Na parcela modal, o componente gramíneo (vivo + morto) passou a ser o principal componente, com cerca de 10,0% mais biomassa que as folhas mortas. A biomassa herbácea da parcela tardia passou a ser constituída basicamente pelo componente gramíneo ($\approx 70\%$ do total) refletindo o elevado número de fustes destruídos (cerca de 75,0%).

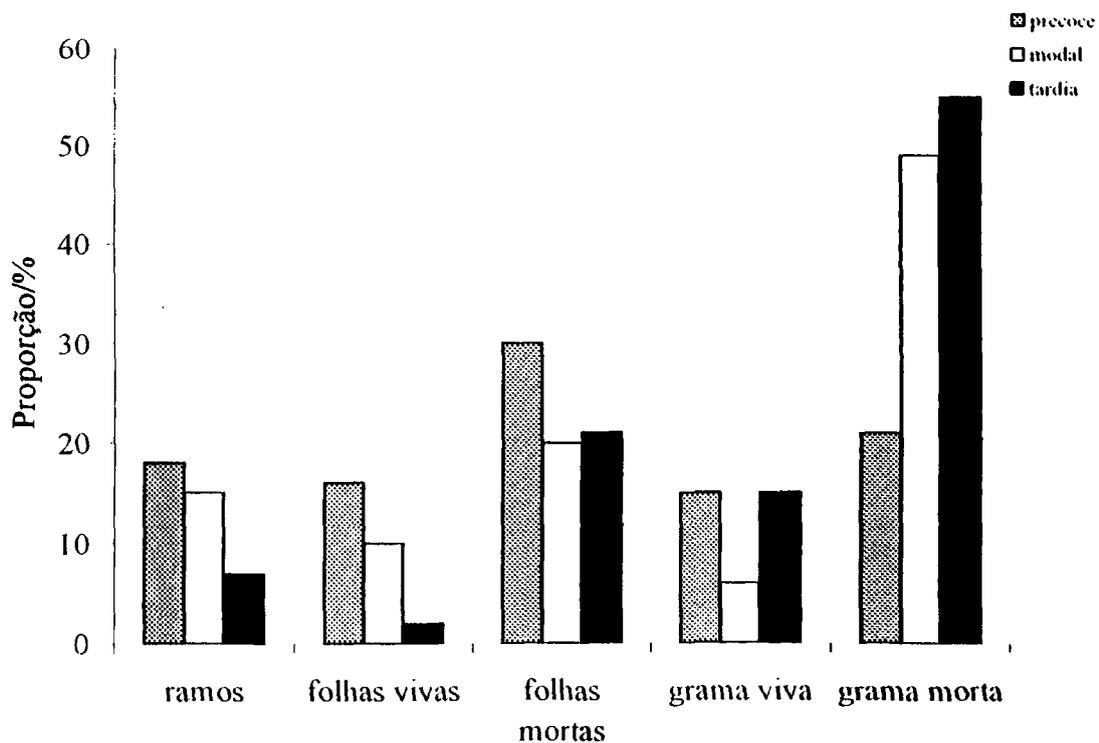


Figura 14. Composição da biomassa do estrato herbáceo em áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a cinco queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF. (H. S. Miranda, dados não publicados).

A adição da biomassa do estrato herbáceo a do lenhoso resultou na biomassa total de 22,2 t/ha para a parcela precoce, 17,5 t/ha para a modal e 17,2 t/ha para a tardia, após as cinco queimadas prescritas. A redução do total de biomassa herbácea nas parcelas precoce e modal, e o aumento desta na parcela tardia resultaram na redução total da biomassa de cerca de 16,0% na parcela precoce, 32,0% na modal e 33,0% na tardia. Embora a redução na biomassa total das parcelas tenha sido da ordem de 30,0%, a alteração na importância relativa da biomassa do estrato herbáceo em relação ao lenhoso pode ter consequências significativas no funcionamento do sistema em termos do uso de água, fluxo de carbono e ciclagem de nutrientes (Miranda *et al.* 1997; Haridasan 2000).

Redução no estoque de carbono

Antes das queimadas prescritas, havia estoque de cerca de 11 t C/ha em cada parcela, sendo que 4,6 t C/ha, 3,7 t C/ha e 2,7 t C/ha estavam armazenados na biomassa do estrato herbáceo (Tabela 24).

Tabela 20. Estoque de carbono em áreas de cerrado *sensu stricto* antes (1990) e após (2000) serem submetidas a cinco queimadas bienais prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF.

Regime de queima	Estoque de carbono em 1990 (t/ha)			Estoque de carbono em 2000 (t/ha)			Redução (t C/ha)
	Lenhosas	Herbáceas	Total	Lenhosas	Herbáceas	Total	
Precoce	6,9	4,6	11,5	6,3 (91,3)	3,4 (73,9)	9,7 (84,3)	1,8
Modal	7,6	3,7	11,3	4,6 (60,5)	2,9 (78,4)	7,5 (66,4)	3,8
Tardia	8,6	2,7	11,3	3,9 (45,3)	3,3 (122,2)	7,2 (63,7)	4,1

Valores entre parênteses = proporção entre valores em 2000 e 1990.

Após as cinco queimadas, o estoque de carbono na vegetação lenhosa foi reduzido de 8,7% na parcela precoce a 54,7% na tardia. Para o estoque no estrato herbáceo, foi observada redução da ordem de 24,0% nas parcelas precoce e modal e aumento de cerca de 22,0% na tardia. Desta forma, as queimadas prescritas reduziram em 1,8 t/ha o estoque de carbono na parcela precoce, em 3,8 t/ha na modal e 4,1 t/ha na tardia. Entretanto, a perda de carbono nos estratos lenhoso e herbáceo das parcelas deu-se de forma diferenciada. Na parcela precoce, dos 1,8 t C/ha de carbono perdido, o estrato herbáceo contribuiu com de cerca de 67,0%, enquanto o estrato arbóreo com cerca de 33,0%. Na parcela modal das 3,8 t C/ha perdidas, 78,9% foram provenientes da vegetação do estrato lenhoso e apenas 21,1% do herbáceo. Para a vegetação da parcela tardia, foram perdidas 4,7 t C/ha da vegetação lenhosa e foram adicionadas 0,6 t C/ha na área, como consequência do aumento da biomassa do estrato herbáceo, resultando, assim, em uma perda líquida de 4,1 t C/ha.

Embora as perdas acumuladas ao longo dos 10 anos de experimento sejam relativamente pequenas, estas não expressam realmente a quantidade de carbono

liberada das parcelas durante as queimadas. De forma geral, durante queimadas de Cerrado, a eficiência de combustão para a vegetação do estrato herbáceo varia de 75% a 98%, apresentando valores mais elevados em áreas de campo sujo (Miranda *et al.* 1996; Miranda 2000), sendo que o estrato herbáceo representa cerca de 94% da biomassa consumida durante as queimadas (Miranda *et al.* 2002a). Embora, quase toda a biomassa do estrato herbáceo seja consumida durante a queimada, o valor pré-queima é recuperado em cerca de 18 meses (Batmanian 1983; Andrade 1998, Neto *et al.* 1998).

Embora a altura média das chamas raramente ultrapasse 2,8 m em queimadas de savanas (Frost & Robertson 1987), a exposição das folhas ao fluxo de ar quente durante a passagem da frente de fogo é longa o suficiente para resultar em danos, que resultam na abscisão das folhas, alguns dias após a queimada. Castro Neves (dados não publicados) determinou a redução de cerca de 23% na cobertura de uma área de cerradão, como consequência da abscisão das folhas na semana seguinte à realização de uma queimada prescrita e Nardoto (2000) mensurou acentuado aumento na formação de serapilheira, alguns dias após a ocorrência de queimadas em áreas de cerrado *sensu stricto*. Para este estrato, o que se observa, após a queimada, é a rápida reposição das folhas (Coutinho 1990; Freitas 1998) para os indivíduos que sofreram danos leves, e o desenvolvimento de rebrotas aéreas e/ou basais (Cardinot 1998; Medeiros 2002) para aqueles que sofreram danos mais severos, como morte de ramos ou *top kill*. Desta forma, a perda de carbono pela combustão da vegetação lenhosa estaria restrita principalmente a folhas e ramos finos (diâmetro menor do que 6,0 mm, Luke & McArthur 1978) dos indivíduos com altura inferior a 3,0 m. Mesmo os indivíduos com altura menor que 3,0 m, representando 69,0% dos indivíduos presentes nas parcelas, devemos considerar que apenas entre 3,8% e 5,0% do total da biomassa é representada pelas folhas. Assim, a perda de carbono no estrato lenhoso só passa a ser significativa

quando há morte, com consumo, do fuste principal ou dos ramos mais baixos. Desta forma, para cada queimada, um mínimo de 3,0 t C/ha seriam perdidos da área, principalmente como consequência da combustão da biomassa do estrato herbáceo.

Fluxos de carbono em diferentes formas fisionômicas de Cerrado têm sido mensurados desde 1995 (Miranda *et al.* 1996, 1997; Silva 1999; Santos 1999; Breyer 2001). Estes estudos mostram que, embora a vegetação se comporte como fonte de carbono para a atmosfera durante parte da estação seca, fixa entre 1,4 t C ha⁻¹ ano⁻¹ a 2,9 t C ha⁻¹ ano⁻¹. Silva (1999) e Santos (1999), comparando a absorção de carbono pela vegetação de campo sujo queimada e protegida de queima por 4 anos, determinaram uma fixação de 1,4 t C ha⁻¹ ano⁻¹ na área queimada e de 2,9 t C ha⁻¹ ano⁻¹ na área não queimada. Considerando que durante a queimada foram emitidas para a atmosfera 3,1 t C ha⁻¹, em cerca de 2 anos, o carbono seria reabsorvido (Santos *et al.* 2003). Para área de cerrado *sensu stricto* protegida de queima por mais de 20 anos, Miranda *et al.* (1996, 1997) e Breyer (2001) determinaram que 2,5 t C ha⁻¹ ano⁻¹ foram fixados. Desta forma, o fluxo anual de carbono determinado para cerrado *sensu stricto* é aproximadamente da mesma magnitude da quantidade de carbono emitida durante a queima da vegetação herbácea. Portanto, pode-se inferir que, como há pequena alteração na biomassa da vegetação herbácea, e, conseqüentemente, no seu estoque de carbono, grande parte do carbono fixado pelo sistema é utilizada para a sua recuperação. Ainda, se consideramos que a quantidade de material fotossintetizante na vegetação lenhosa varia, durante o ano, entre 3,8% e 5,0% do total de biomassa, a biomassa das folhas estaria no intervalo de 0,3 t/ha a 0,7 t/ha (Tabela 19) em comparação com a biomassa verde do estrato herbáceo que foi da ordem de 1,1 t/ha a 2,5 t/ha na estação seca de 2000 (Figura 14). Andrade (2002) em estudo do banco de sementes do solo observou que em áreas de cerrado *sensu stricto* protegida do fogo as sementes de

Echinolaena inflexa, uma gramínea C₃ é o principal componente do banco de sementes e em áreas submetidas a queima frequente as sementes de *Axonopus barbigerus*, gramínea C₄, é o principal componente do banco de sementes, sugerindo uma possível alteração na absorção de carbono pelo estrato herbáceo. Desta forma, o carbono assimilado pela vegetação pode estar sendo utilizado em grande parte para a manutenção de estrato herbáceo.

Se assumirmos que 2,0 t C ha⁻¹ ano⁻¹ do carbono assimilado, pela vegetação de cerrado *sensu stricto*, esteja sendo utilizado para a manutenção da biomassa do estrato herbáceo e que apenas 0,5 t C ha⁻¹ ano⁻¹ esteja sendo fixado pela vegetação lenhosa, após os dez anos do experimento seriam necessários cerca de 2 anos para recuperar o carbono perdido da biomassa aérea da vegetação lenhosa (Tabelas 18 e 19) da parcela precoce, 4 anos para a recuperação na modal e 10 anos para a tardia. Isto considerando apenas a fixação do carbono perdido e não a estrutura da vegetação.

Conclusões

- Não foi observada diferença significativa entre as taxas de mortalidade após a primeira queimada entre as três áreas: 12,8%, 12,1% e 10,5% para as parcelas submetidas a queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, respectivamente. Este resultado era esperado uma vez que as parcelas estavam protegidas de queima por 18 anos e eram florística e estruturalmente semelhantes.
- As cinco queimadas prescritas resultaram em alterações significativas na estrutura da vegetação uma vez que as taxas de mortalidade acumulada foram de 38,7%, 45,0% e 43,7%, para as parcelas submetidas a queimadas prescritas no início (precoce), meio (modal) e final (tardia) da estação seca, respectivamente. Não foi determinada diferença significativa entre as taxas determinadas para as parcelas modal e tardia. Esta alteração na estrutura torna-se mais acentuada quando consideramos a quantidade de caules destruídos (morte + *top kill*). As queimadas precoces (junho) resultam na destruição de 44% dos fustes presentes na área antes da primeira queima. Para a parcela submetida a queimadas em meados de agosto (modal) esta taxa foi de $\approx 59\%$ e para a parcela submetida a queimadas no final da estação seca (tardia) foi de 75% dos fustes. Esta diferença pode estar refletindo as diferentes fenofases das espécies presentes nas parcelas.
- Na parcela submetida a queimadas no início da estação seca (junho) foram recrutados 240 indivíduos, o que representa cerca de 53,0% dos indivíduos que sofreram mortalidade nas cinco queimadas prescritas, enquanto o número de indivíduos recrutados foi de 74 indivíduos e de 30 indivíduos nas parcelas submetidas a queimadas prescritas no meio (agosto) e final (setembro) da estação seca, respectivamente.

- Os resultados mostram que, após as cinco queimadas bienais prescritas, considerando as diferentes proporções de caules destruídos, de recrutamento e de recuperação do estrato lenhoso a época do ano mais apropriada para utilizar queimadas prescritas, com frequência bienal, como ferramenta de manejo é o início da estação seca (precoce), pois é o regime que mais se aproxima ao das queimadas naturais na região do cerrado. A área submetida a queimadas bienais no final da estação seca apresenta danos mais severos e uma recuperação mais lenta.

Referências bibliográficas

- Abdala, G. C.; Caldas, L. S.; Haridasan, M. & Eiten, G. 1998. Above and below-ground organic matter and root-shoot ratio in a cerrado in central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, **2**:11-23.
- Andrade, L. A. Z. 2002. Impacto do fogo no banco de sementes de cerrado *sensu stricto*. *Tese de Doutorado*, Universidade de Brasília.
- Andrade, S. M. A. 1998. Dinâmica do combustível fino e produção primária do estrato rasteiro de áreas de campo sujo de cerrado submetidas a diferentes regimes de queima. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Armando, M. 1994. O impacto do fogo na rebrota de algumas espécies de árvores do cerrado. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Assad, E. D.; Masumoto, R. & Assad, M. L. L. 1992. Estimativas das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **27**:677-686.
- Assad, E. D.; Sano, E. E.; Masumoto, R.; Castro, L. H. & Silva, F. M. 1993. Veranicos na região dos Cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **28**:993-1003.
- Batalha, M. A.; Mantovani, W. & Mesquita Júnior, H. N. 2001. Vegetation structure in cerrado physiognomies in south-eastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **61**:475-483.
- Batmanian, G. J. 1983. Efeito do fogo sobre a produção primária e acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Batmanian, G. J. & Haridasan, M. 1985. Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. *Plant and Soil*, **88**:437-440.
- Bell, T. L.; Pate, J. S. & Dixon, K. W. 1996. Relationships between fire response, morphology, root anatomy and starch distribution in south-west Australian Epacridaceae. *Annals of Botany*, **77**:357-364.
- Borgatto, D. F. 1994. Estado nutricional da regeneração de espécies arbóreas de um cerrado submetido à corte e queima. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Braithwaite, R. W. 1995. Fire intensity and the maintenance of habitat heterogeneity in a tropical savanna. *CALMScience Supplement*, **4**:189-196.

- Braz, V. S.; Kanegae, M. F. & Franco, A. C. 2000. Estabelecimento e desenvolvimento de *Dalbergia miscolobium* Benth. em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. *Acta Botânica Brasileira*, **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.
- 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.
- Castro, E. A. & Kauffman, B. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology*, **14**:263-283.
- Castro-Neves, B. M. & Miranda, H. S. 1996. Efeitos do fogo no regime térmico do solo de um campo sujo de Cerrado. In: *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda; C. H. Saito & B. F. S. Dias (orgs.). ECL/UnB, Brasília. p.20-30.
- Cavalcanti, L. H. 1978. Efeito das cinzas resultantes da queimada sobre a produtividade do estrato herbáceo subarbustivo do cerrado de Emas. *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo.
- César, H. L. 1980. Efeitos da queima e corte na vegetação de um campo sujo na Fazenda Água Limpa-DF. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Chandler, C.; Cheney, P.; Thomas, P.; Traubaud, L. & Williams, D. 1983. *Fire in forestry, volume I: forest fire behaviour and effects*. John Wiley & Sons, New York.
- Cirne, P. 2002. Efeitos do fogo na regeneração de *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. (Guttiferae) em áreas de cerrado *sensu stricto*: mecanismos de sobrevivência e época de queima. *Tese de Doutorado*, Universidade de Brasília.
- 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.
- Coutinho, L. M. 1977. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. II - As queimadas e a dispersão de sementes de algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo subarbustivo. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, **5**:57-64.
- Coutinho, L. M. 1978. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. I-A temperatura do solo durante as queimadas. *Revista Brasileira de Botânica*, **1**:93-97.

- Coutinho, L. M. 1979. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. III. A precipitação atmosférica de nutrientes minerais. *Revista Brasileira de Botânica*, **2**:97-101.
- Coutinho, L. M. 1982. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: *Ecology of Tropical Savannas*. B. J. Huntley & B. H. Walker (eds.). Springer Verlag, Berlin. p.273-291.
- Coutinho, L. M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: *Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges*. J. G. Goldammer (ed.). Ecological Studies Vol. 8A. Springer Verlag, Berlin. p.82-105.
- Coutinho, L. M.; de Vuono, Y. S. & Lousa, J. S. 1982. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. A época da queimada e a produtividade primária líquida epigéia do estrato herbáceo-subarbustivo. *Revista Brasileira de Botânica*, **5**:37-41.
- Dale, V. H. & Beyeler, S. C. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, **1**:3-10.
- Dias, B. S. F. 1992. Cerrados: uma caracterização. In: *Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados*. B. F. S. Dias (org.). FUNATURA, Brasília. p.11-25.
- Dias, I. F. O. 1994. Efeitos da queima no regime térmico do solo e na produção primária de um campo limpo de cerrado. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Dunin, F. X.; Miranda, H. S.; Miranda, A. C. & Lloyd, J. 1997. Evapotranspiration responses to burning of campo sujo savanna in Central Brazil. In: *Proceedings of the Bushfir '97*. B. J. McKaige; R. J. Williams & W. M. Waggitt (eds.). CSIRO, Australia. p.146-151.
- Durigan, G.; Leitão-Filho, H. F. & Rodrigues, R. R. 1994. Phytosociology and structure of a frequent burnt cerrado vegetation in SE-Brazil. *Flora*, **189**:153-160.
- Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of central Brazil. *Botanical Review*, **38**:201-341.
- Eiten, G. 1979. Formas fisionômicas do Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, **2**:139-148.
- Eiten, G. 1986. The use of the term "savanna". *Tropical Ecology*, **27**:10-23.
- Eiten, G. 1994. Vegetação do Cerrado. In: *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. M. N. Pinto (org.), Editora Universidade de Brasília, Brasília. p.17-74.
- Eiten, G. & Sambuichi, R. H. R. 1996. Effects of long-term periodic fire on plant diversity in a cerrado region. In: *Anais do VII Simpósio sobre o Cerrado*. R. C. Pereira & L. C. B. Nasser (eds.), EMBRAPA-CPAC, Brasília. p.46-55.

- Fechner, H. R.; Silva Jr., M. C. & Fonseca, M. S. 2000. Sobrevivência de árvores no cerrado (*sensu stricto*) após fogo, no Jardim Botânico de Brasília-DF. *Resumos do 51º Congresso Nacional de Botânica*, Brasília, DF. p.90.
- Felfili, J. M. & Silva Jr., M. C. 1993. A comparative study of cerrado (*sensu stricto*) vegetation in central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, **9**:277-289.
- Felfili, J. M., Rezende, A. V., Silva Jr., M. C. & Silva, M. A. Changes in the floristic composition of cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. 2000. *Journal of Tropical Ecology*, **16**:579-590.
- Felfili, J. M.; Silva Jr., M. C.; Rezende, A. V.; Nogueira, P. E.; Walter, B. M. T.; Felfili, M. C.; Silva, M. A. & Imaña-Encinas, J. 1997. Comparação do cerrado (*sensu stricto*) nas chapadas Pratinha e dos Veadeiros. In: *Contribuição ao Conhecimento Ecológico do Cerrado*. L. L. Leite & C. H. Saito (eds.), Universidade de Brasília, Brasília. p.6-11.
- Felfili, J. M.; Silva Jr., M. C.; Dias, B. J. & Rezende, A. V. 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.
- Freitas, R. I. 1998. Abelhas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) e a floração de plantas em áreas de Cerrado recém queimadas no Distrito Federal. *Dissertação Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Frost, P. G. H. 1985. The responses of savanna organisms to fire. In: *Ecology and Management of the World's Savannas*. J. C. Tothill & J. J. Mott (eds.), Canberra: Australian Academy of Science. p.232-237.
- Frost, P. G. H. & Robertson, F. 1987. The ecological effects of fire in savannas. In: *Determinants of Tropical Savannas*. B. H. Walker (ed.), IRL Press, Oxford. p.93-140.
- Furley, P. A. 1999. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. *Global Ecology and Biogeography*, **8**:223-241.
- Gauch, H. G. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Goodland, R. & Pollard, R. 1973. The brazilian Cerrado vegetation: a fertility gradient. *Journal of Ecology*, **61**:219-224.
- Guedes, D. M. 1993. Resistência das árvores do cerrado ao fogo: papel da casca como isolante térmico. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.

- Haddad, C. R. B. & Valio, I. F. M. 1993. Effect of fire on flowering of *Lantana montevidensis* Briq. *Journal of Plant Physiology*, **141**:704-707.
- Haridasan, M. 2000. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, **12**:54-64.
- Hoffmann, W. A. 1996. The effects of fire and cover on seedling establishment in a neotropical savanna. *Journal of Ecology*, **84**:383-393.
- Hoffmann, W. A. 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. *Journal of Applied Ecology*, **35**:422-433.
- Hoffmann, W. A. & Solbrig, O. T. 2003. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. *Forest Ecology and Management*, **6172**:1-14 (*in press*).
- Imaña-Encinas, J.; Paula, J. E & Sugimoto, N. 1995. Análise fitossociológica do cerrado da Fazenda Marflora. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **30**:577-582.
- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook.
- Jackson, P. C.; Meinzer, F. C.; Bustamante, M. M. C.; Goldstein, G.; Franco, A. C.; Rundel, P. W.; Caldas, L. S., Iglar, E. & Causin, F. 1999. Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian Cerrado ecosystem. *Tree-Physiology*, **19**: 717-724.
- Kauffman, J. B.; Cummings, D. L. & Ward, D. E. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology*, **82**:519-531.
- Kellman, M. 1986. Fire sensitivity of *Casuarina torulosa* in north Queensland, Australia. *Biotropica*, **18**:107-110.
- Landim, M. F. & Hay, J. D. 1996. Impacto do fogo sobre alguns aspectos da biologia reprodutiva de *Kielmeyera coriacea* Mart. *Revista Brasileira de Biologia*, **56**:127-134.
- Lilienfein, J.; Wilcke, W.; Zimmerman, R.; Gerstberger, P.; Araújo, G.M. & Zech, W. 2001. Nutrient storage in soil and biomass of native Brazilian cerrado. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **164**:487-495.
- Luke, R. H. & McArthur, A. G. 1978. *Bushfires in Australia*. Australian Canberra, Government Publishing Service.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurements*. Croom Helm. London.

- 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.
- Medeiros, M. B. 2002. Efeitos do fogo nos padrões de rebrotamento em plantas lenhosas, em campo sujo. *Tese de Doutorado*, Universidade de Brasília.
- Meirelles, M. L. 1981. Produção primária e suas relações com fatores ambientais em pastagem artificiais e campo sujo de Cerrado, queimado e natural. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Miranda, A. C.; Miranda, H. S.; Dias, I. O. & Dias, B. F. 1993. Soil and air temperatures during prescribed Cerrado fires in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, **9**:313-320.
- Miranda, A. C.; Miranda, H. S.; Lloyd, J.; Grace, J.; Francey, J. A.; McIntyre, J.; Meier, P.; Riggan, P.; Lockwood, R. & Brass, J. 1996. Carbon dioxide flux over a cerrado *sensu stricto* in central Brazil. In: *Amazonian deforestation and climate*. J. H. S. Gash; C. A. Nobre; J. M. Roberts & R. L. Victoria (eds.), Institute of Hydrology. p.353-363.
- Miranda, A. C.; Miranda, H. S.; Lloyd, J.; Grace, J.; McIntyre, J. A.; Meier, P.; Riggan, P.; Lockwood, R. & Brass, J. 1997. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell and Environment*, **20**:315-328.
- Miranda, H. S. 2000. Queimadas de cerrado: caracterização e impactos na vegetação lenhosa. III Fórum de debates sobre o plano de prevenção e combate aos incêndios florestais do DF. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos Semarh. p.135-149.
- Miranda, H. S.; Bustamante, M. M. C. & Miranda, A. C. 2002a. The fire factor. In: *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. P. S. Oliveira & R. J. Marquis (eds.), Columbia University Press. p.51-68.
- Miranda, H. S.; Rocha e Silva, E. P. & Miranda, A. C. 1996. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo In: *Impactos do Fogo em Áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda, C. H. Saito & B. F. S. Dias (orgs.), ECL/UnB, Brasília. p. 1-10.
- Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, S. M. A.; Haridasan, M. & Moraes, H. C. 2002b. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: *Cerrados Ecologia e Caracterização*. L. M. S. Aguiar & A. Camargo (eds.), Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. (in press).

- 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.
- Miranda, M. I. 1997. Colonização de campo sujo de cerrado por *Echinolaena inflexa* (Poaceae). *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Miranda, M. I. 2002. Efeitos de diferentes regimes de queima sobre a comunidade de gramíneas do Cerrado. *Tese de Doutorado*, Universidade de Brasília.
- Miyaniishi, K. & Kellman, M. The role of fire in the recruitment of two neotropical savanna shrubs, *Miconia albicans* and *Clidemia sericea*. *Biotropica*, **18**:224-230.
- Mistry, J. 1998. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography*, **22**:425-448.
- Moreira, A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, **27**:1021-1029.
- Nardoto, G. B. 2000. Efeito de queimadas na mineralização de nitrogênio e em processos de ciclagem de nutrientes em uma área de cerrado *sensu stricto*. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Neto, W. N.; Andrade, S. M. A. & Miranda, H. S. 1998. The dynamics of the herbaceous layer following prescribed burning: a four year study in the Brazilian savanna. In: *Proceedings of 3rd International Conference on Forest Fires Research*. D. X. Viegas (ed.) Coimbra, Portugal. **2**:1785-1792.
- Oliveira, P. E. 1992. A palynological record of late Quaternary vegetational and climatic change in southern Brazil. *PhD. Thesis*, Ohio State University, USA.
- Oliveira, P. E. & Gibbs, P. E. 2000. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. *Flora*, **195**:311-329.
- Oliveira, P. E. & Silva, J. C. S. 1993. Reproductive biology of two species of *Kielmeyera* (Guttiferae) in the cerrados of Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, **9**:67-79.
- Ottmar, R. D.; Vihnanek, R. E.; Miranda, H. S.; Sato, M. N. & Andrade, S. M. A. 2001. *Séries de estéreo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do Cerrado do Brasil central. Volume I*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-519. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Parron, L. M. & Hay, J. D. 1997. Effect of fire on seed production of two native grasses in the Brazilian Cerrado. *Ecotropicos*, **10**:1-8.

- Pivello, V. R. & Coutinho, L. M. 1992. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, **8**:487-497.
- Plumb, T. R. 1980. Response of oaks to fire. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW*; Pacific Southwest Forest and Range Exp. Stn. **44**:202-215.
- Poth, M.; Anderson, I. C.; Miranda, H. S.; Miranda, A. C. & Riggan, P. J. 1995. The magnitude and persistence of soil NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from burned tropical savanna in Brazil. *Global Biogeochemical Cycles*, **9**:503-513.
- Quesada, C. A.; Miranda, A. C.; Hodnett, M. G.; Santos, A. J. B.; Miranda, H. S. & Breyer, L. M. 2003. Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil. *Ecological Applications* (in press).
- Rachid-Edwards, M. 1956. Alguns dispositivos para proteção de plantas contra a seca e o fogo. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras*, **13**:39-68.
- Ramos, A. E. 1990. O efeito de queima sobre a vegetação lenhosa do cerrado. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Ramos Neto, M. B. & Pivello, V. R. 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. *Environmental Management*, **26**:675-684.
- Rawitscher, F. 1948. The water economy of the vegetation of the campos cerrados in Southern Brazil. *Journal of Ecology*, **36**:237-268.
- Rawitscher, F. & Rachid, M. 1946. Troncos subterrâneos de plantas brasileiras. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **18**:261-280.
- Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T. 1998. Fisionomias do bioma Cerrado. In: *Cerrado, Ambiente e Flora*. S. M. Sano & S. P. de Almeida (eds.), EMBRAPA, Planaltina-DF. p.89-166.
- 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.
- Rocha e Silva, E. P. & Miranda, H. S. 1996. Temperatura do câmbio de espécies lenhosas do cerrado durante queimadas prescritas. In: *Anais do VII Simpósio sobre o Cerrado*. R. C. Pereira & L. C. B. Nasser (eds.), EMBRAPA-CPAC, Brasília. p.253-257.
- Rosa, C. M. M. 1990. Recuperação pós-fogo do estrato rasteiro de um campo sujo de cerrado. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.

- Rutherford, M. C. 1981. Survival, regeneration and leaf biomass changes in woody plants following spring burns in *Burkea africana* – *Ochna puchara* savanna. *Bothalia*, **13**:531-552.
- Saint-Hilaire, A. 1824. Histoire des plantes les plus remarquables du Brésil et du Paraguay, I. Reproduzido em *The Chronica Botanica Company*, **X**:23-61, 1946.
- Sambuichi, R. H. R. 1991. Efeitos a longo prazo do fogo periódico sobre a fitossociologia da camada lenhosa de um cerrado em Brasília, DF. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- San José, J. & Farinas, M. R. 1983. Changes in tree density and species composition in a protected *Trachypogon* savanna, Venezuela. *Ecology*, **64**:447-453.
- Santos, A. J. B. 1999. Fluxos de energia, carbono e água em áreas de campo sujo. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Santos, A. J. B.; Silva, G. T.; Miranda, H. S.; Miranda, A. C. & Lloyd, J. 2003. Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over campo sujo savanna in central Brazil. *Functional ecology* (in press).
- Santos, J. R. 1988. Biomassa aérea da vegetação do cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor “thematic mapper” do satélite Landsat. *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Paraná.
- Sato, M. N. 1996. Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado submetido a diferentes regimes de queima. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Sato, M. N. & Miranda, H. S. 1996. Mortalidade de plantas lenhosas do Cerrado *sensu stricto* submetidas a diferentes regimes de queima. In: *Impactos do Fogo em Áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda, C. H. Saito & B. F. S. Dias (orgs.), ECL/UnB, Brasília. p.102-111.
- Sato, M. N., Garda, A. A. & Miranda, H. S. 1998. Fire effects in the mortality rate of woody vegetation in Central Brazil. In: *Proceedings of 3rd International Conference on Forest Fires Research*. D. X. Viegas (ed.) Coimbra, Portugal. p.1777-1784.
- Silberbauer-Gottsberger, I. 2001. A Hectare of Cerrado. II. Flowering and fruiting of thick-stemmed woody species. *Phyton*, **41**:129-158.

- Silva, F. C. 1990. Compartilhamento de nutrientes em diferentes componentes da biomassa aérea em espécies arbóreas de um cerrado. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Silva, G. T. 1999. Fluxos de CO₂ em um campo sujo submetido a queimada prescrita. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Silva, G. T.; Sato, M. N. & Miranda, H. S. 1996. Mortalidade de plantas lenhosas em um campo sujo de cerrado submetido a queimadas prescritas. In: *Impactos do Fogo em Áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda, C. H. Saito & B. F. S. Dias (orgs.), ECL/UnB, Brasília. p.93-101.
- Silva, I. S. 1983. Alguns aspectos da ciclagem de nutrientes em uma área de cerrado (Brasília, DF): chuva, produção e decomposição de liter. *Dissertação Mestrado*, Universidade de Brasília.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. 1969. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. WH Freeman and Company, San Francisco.
- Souza, M. H. A. O. & Soares, J. J. 1983. Brotamento de espécies arbustivas e arbóreas, posteriormente a uma queimada, num cerradão. *Anais do Seminário Regional de Ecologia*, III:263-275.
- Spurr, S. H. & Barnes, B. V. 1992. *Forest Ecology*. Florida, Krieger Publishing Company.
- Trabaud, L. 1987. Fire and survival traits of plants. In: *The Role of Fire in Ecological Systems*. L. Trabaud (ed.), SPB Academic Publishing, The Netherlands. p.65-89.
- Trapnell, C. G. 1959. Ecological results of woodland burning experiments in Northern Rhodesia. *Journal of Ecology*, 5:129-168.
- Trollope, W. S. W. 1984. Fire behaviour. In: *Ecological Effects of Fire in South African Ecosystems*. P. V. Booysen & N. M. Taniton (eds.), Berlin, Springer-Verlag.
- Trollope, W. S. W.; Trollope, L. A. & Hartnett, D. C. 2002. Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. In: *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. D. X. Viegas (ed.), Millpress, Rotterdam.
- Vale, A. T. 2000. Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* da região de Brasília para o uso energético. *Tese de Doutorado*, UNESP-Botucatu.
- Vicentini, K. R. F. 1993. Análise palinológica de uma vereda em Cromínia-GO. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília.

- Ward, D. E.; Susott, R. A.; Kauffman, J. B.; Babbit, R. E.; Cummings, D. L.; Dias, B.; Holben, B. N.; Kaufman, Y. J.; Rasmussen, R. A. & Setzer, A. W. 1992. Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B experiment. *Journal of Geophysical Research*, **97**:14601-14619.
- Warming, E. 1908. *Lagoa Santa – contribuição para a geographia phytobiologica*. Belo Horizonte, MG. (Lagoa Santa – et Bidrad til den biologiske Plantegeographi, Kjobenhavn, 1892. Trad. de A. Loefgren).
- Whelan, R. J. 1995. *The Ecology of Fire*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Whelan, R. J.; Rodgerson, L.; Dickman, C. R. & Sutherland, E. F. 2002. Critical life cycles of plants and animals: developing a process-based understanding of population changes in fire-prone landscapes. In: *Flammable Australia: the Fire Regimes and Biodiversity of a Continent*. R. A. Bradstock; J. E. Williams & A. M. Gill (eds.), Cambridge, Cambridge University Press. p.94-124.
- Williams, R. J. 1995. Tree mortality in relation to fire intensity in a tropical savanna of the Kakadu region, Northern Territory, Australia. *CAIMScience Supplement*, **4**:77-82.
- Williams, R. J.; Cook, G. D.; Gill, A. M. & More, P. H. R. 1999. Fire regime, fire intensity and tree survival in a tropical savanna in northern Australia. *Australian Journal of Ecology*, **24**:50-59.