**UNIVERSIDADE DO AMAZONAS**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA**

# SAVANAS DA AMAZÔNIA: EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E MATERIAL PARTICULADO PELA QUEIMA E DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO, SEM A TROCA DO USO DA TERRA, EM RORAIMA, BRASIL

**REINALDO IMBROZIO BARBOSA**

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do Convênio INPA/UA, como parte dos requisistos para obtenção do título de **Doutor** em Ciências Biológicas, na área de concentração em **Ecologia**.

Manaus - Amazonas

2001

**UNIVERSIDADE DO AMAZONAS**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA**

# SAVANAS DA AMAZÔNIA: EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E MATERIAL PARTICULADO PELA QUEIMA E DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO, SEM A TROCA DO USO DA TERRA, EM RORAIMA, BRASIL

**REINALDO IMBROZIO BARBOSA**

**Orientador : Dr. PHILIP MARTIN FEARNSIDE**

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do Convênio INPA/UA, como parte dos requisistos para obtenção do título de **Doutor** em Ciências Biológicas, na área de concentração em **Ecologia.**

Manaus - Amazonas

2001

BARBOSA, Reinaldo Imbrozio

SAVANAS DA AMAZÔNIA: EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA E MATERIAL PARTICULADO PELA QUEIMA E DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO, SEM A TROCA DO USO DA TERRA, EM RORAIMA, BRASIL.

Manaus: INPA/UA, 2001. xxiv + 212 p.

Tese de Doutorado

1. Savanas 2. Cerrados 3. Emissão de Gases do Efeito Estufa 4. Carbono 5. Queima de Biomassa 6. Roraima 7. Amazônia

CDD : 574.5

**Sinopse**: Foi medido a emissão de gases do efeito estufa e do material particulado pela queima e decomposição da biomassa vegetal acima do solo (sem a troca do uso da terra) em três tipos de savanas amazônicas, localizadas no Estado de Roraima, Brasil. Com base nos resultados obtidos e em revisões literárias, foi realizada uma estimativa preliminar de emissão para toda a Amazônia Brasileira.

**Palavras-chave**: Savanas, Cerrados, Emissão de Gases do Efeito Estufa, Carbono, Queima de Biomassa, Roraima, Amazônia

**Key words**: Savannas, Cerrados, Greenhouse Gas Emissions, Carbon, Biomass Burning, Roraima, Amazonia

*Aos índios do "lavrado" de Roraima que, pacientemente, me ajudaram em várias jornadas de trabalho e me acolheram para boas conversas sobre sua história, lendas e modo de vida na região.*

## AGRADECIMENTOS

Os índios Macuxi das Aldeias do Contão, Machado, Pedra Branca, Guariba, Napoleão e Olho D'Água e, os índios Wapichana das Aldeias da Malacacheta e Taba Lascada permitiram que eu utilizasse suas terras tradicionais no decorrer deste trabalho.

A EMBRAPA/CPAF-Roraima gentilmente liberou seus Campos Experimentais do Água Boa e Monte Cristo para a realização de parte dos estudos de campo. Além disto, também disponibilizou seus laboratórios para a triagem preliminar das amostras de tecido vegetal.

O Governo do Estado de Roraima, através do 1º Termo Aditivo do Convênio INPA/GERR (1993) e do 2º Termo Aditivo do Convênio INPA/GERR (06/1995), financiou as despesas iniciais desta pesquisa, dentro do projeto "Capacidade de Suporte Humano em Agroecossistemas Amazônicos - Roraima".

O Fundo Mundial para a Natureza (WWF), através do Programa Natureza e Sociedade custeou as despesas finais da pesquisa dentro do projeto "Savanas da Amazônia: Emissão de gases do efeito estufa ($CO_2$ e gases-traço) pela e queima e decomposição da biomassa vegetal em Roraima, Brasil" (CSR 131-99).

O INPA, através do PDIRH me forneceu uma bolsa durante o período de estudos em Roraima.

Philip Fearnside (INPA/CPEC) confiou e acreditou na proposta de trabalho, me orientando, discutindo, fazendo criticas e dando sugestões à redação final da tese.

Max Sarrazin e Thierry Dejardins (ORSTOM/Manaus), Takashi Muruoka, Brigitte Eduardo e Marisa Piccolo (CENA/USP/Piracicaba), se dispuseram a facilitar as análises químicas nos laboratórios sob suas respectivas responsabilidades.

O Herbário do INPA identificou todo o material botânico coletado nas áreas de estudo.

Sebastião P. do Nascimento, Ecio de J. Gomes de Lucas, Ari A. Weiduschat, Morgan Schimidt e Herundino R. do Nascimento Filho prestaram grande colaboração em diferentes etapas do trabalho de campo.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através de Renato Senna (1º Distrito / Manaus) e de João Coimbra (DFA/Boa Vista), disponibilizou os dados climáticos necessários para a complementação dos resultados da Estação Climatológica de Boa Vista.

O Woods Hole Research Center (Massachusetts), através de Daniel Nepstad, possibilitou uma visita de duas semanas a este centro de investigação americano como parte das discussões sobre os assuntos da tese e para facilitar o resgate final da literatura aqui citada.

Paulo Mauricio L. A. Graça (INPA/CPEC), amigo de longos anos desde os tempos da graduação na UFRRJ, me aturou em algumas conversas em que trocamos sugestões e críticas sobre o trabalho inicial.

Minha companheira (Cicera), meus filhos (Marcelo e Rafael) e meus pais (Adelia e Emerson) entenderam minha falta, respondendo com carinho minhas "agruras" familiares.

Minha Banca Julgadora, formada pelo ***Dr. Philip Martin Fearnside*** (Orientador - INPA/CPEC), ***Dr. Michael Keller*** (Universidade de New Hampshire - USA), ***Dr. Niro Higuchi*** (INPA/CPST), ***Dr. Paulo Marinho Barbosa*** (European Commission / Space Applications Institute - Itália), ***Dr. Carlos A. Klink*** (Universidade de Brasília / Dep. de Ecologia), ***Dr. Christopher Uhl*** (Universidade da Pennsylvania - USA) e ***Dr. Meinrat O. Andreae*** (Max Planck Institute - Alemanha), contribuiu positivamente através de sugestões e observações que enriqueceram as informações contidas na versão final da tese.

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS ..... iv
LISTA DE TABELAS ..... x
LISTA DE FIGURAS ..... xiv
RESUMO ..... xvii
ABSTRACT ..... xxi
**Capítulo 1 - Introdução** ..... 01
1.1 As Incertezas e o Papel da Amazônia Brasileira ..... 03
1.2 O Nível de Conhecimento das Savanas Amazônicas no Contexto das Emissões Regionais e Globais ..... 06
1.3 Objetivo Geral ..... 09
1.4 Modo de Apresentação do Estudo ..... 11
**Capítulo 2 - Descrição Geral das Savanas** ..... 12
2.1 Definição Geral ..... 12
2.1.1 Sítio de Estudo ..... 13
2.1.2 Descrição Fisiográfica da Vegetação ..... 15
2.1.2.1 Sg (Savana gramíneo-lenhosa) ..... 17
2.1.2.2 Sp (Savana parque) ..... 18
2.1.2.3 Tp (Savana estépica-parque) ..... 18
2.1.3 Clima ..... 19
2.1.4 Relevo, Solos e Hidrografia ..... 20
**Capítulo 3 - Área, Limites e Variações Estruturais das Savanas** ..... 22
3.1 Área das Savanas Estudadas ..... 22
3.1.1 Método de Medição ..... 23
3.2 Determinação dos Limites das Paisagens e das Variações Estruturais ..... 27
3.2.1 Método Geral de Amostragem ..... 27
3.2.2 Resultados e Discussão ..... 31
**Capítulo 4 - Área Queimada Anualmente e Freqüência de Queima nas Savanas** ..... 34
4.1 Área Queimada e Freqüência de Queima ..... 34

4.1.1 Metodologia de Amostragem ..... 37
4.2.2 Resultados ..... 41
4.2.2.1 Área Queimada ..... 41
4.2.2.2 Freqüência das Queimadas ..... 43
4.2.3 Discussão ..... 46
4.3 Conclusões ..... 51
**Capítulo 5 - Biomassa Acima do Solo, Fator de Combustão e Destino do Carbono (Estoque e Liberação)** ..... 53
5.1 Metodologia ..... 55
5.1.1 Medição da Biomassa Total Acima do Solo ..... 56
5.1.1.1 Biomassa Rasteira (Método Direto) ..... 56
5.1.1.2 Biomassa Arbórea (Método Direto/Indireto) ..... 62
5.1.1.3 Fator de Combustão da Biomassa Arbórea ..... 66
5.2 Resultados ..... 67
5.2.1 Biomassa Rasteira ..... 67
5.2.2 Biomassa Arbórea e Concentração de Carbono ..... 69
5.2.3 Biomassa Total e Destino do Carbono (Estoque e Liberação) ..... 78
5.3 Discussão ..... 82
5.3.1 Biomassa Total ..... 82
5.3.2 Destino do Carbono ..... 88
5.4 Conclusões ..... 93
**Capítulo 6 - Mortalidade e Recrutamento do Estrato Arbóreo Associado à Dinâmica da Biomassa e do Carbono Total Acima do Solo** ..... 94
6.1 Metodologia ..... 96
6.1.1 Mortalidade e Recrutamento ..... 96
6.1.2 Decomposição (Densidade e Volume) ..... 98
6.1.2.1 Biomassa Inicial ..... 99
6.1.2.2 Densidade Básica ..... 101
6.1.2.3 Volume ..... 103
6.1.2.4 Metodologia de Cálculo ..... 106

6.2 Resultados ..... 110
6.2.1 Mortalidade e Recrutamento ..... 110
6.2.2 Dinâmica das Peças de Madeira “EM” / “SEM” Contato com o Solo ..... 115
6.2.3 Densidade Básica ..... 117
6.2.4 Perda de Volume ..... 120
6.2.5 Decomposição da Necromassa (Perda Conjunta de Material Lenhoso) ..... 124
6.2.6 Dinâmica do Carbono Acima do Solo ..... 130
6.3 Discussão ..... 132
6.3.1 Mortalidade e Recrutamento ..... 132
6.3.2 Decomposição da Necromassa (Perda Composta) ..... 135
6.3.3 Dinâmica do Carbono (Balanço) ..... 137
6.3.4 Sensitividade e Validação ..... 139
6.4 Conclusões ..... 141
**Capítulo 7 - Estimativa da Emissão de Gases do Efeito Estufa ($CO_2$ e gases-traço) e do Material Particulado** ..... 143
7.1 Metodologia ..... 144
7.2 Resultados ..... 151
7.2.1 Estimativa para Roraima (Sg, Sp e Tp) ..... 151
7.2.2 Estimativa para a Amazônia ..... 152
7.3 Discussão ..... 155
7.4 Conclusões ..... 161
**Capítulo 8 - Considerações Finais** ..... 162
**Capítulo 9 - Literatura Citada** ..... 164

**ANEXOS**

Anexo I ..... 195
Anexo II ..... 196
Anexo III ..... 199
Anexo IV ..... 201
Anexo V ..... 207

Anexo VI ..... 208
Anexo VII ..... 211
Anexo VIII ..... 212

# LISTA DE TABELAS

Tabela


01 Estimativa bruta do total de carbono distribuído em diferentes compartimentos dos trópicos (florestas e savanas) e outros sistemas terrestres ..... 01

02 Concentração pré-industrial, recentes taxas de incremento e 'radiative forcing' dos principais gases do efeito estufa ..... 03

03 Área original dos tipos fisionômicos (naturais e agroecossistemas) presentes em Roraima entre 1997/98 ..... 25

04 Divisão estrutural das Savanas de Roraima por uso da terra (situação estimada como média para a década de 1990) ..... 32

05 Porcentagem (%) de área queimada nas savanas de Roraima entre 1997 e 2000, sem a troca do uso da terra, por ano, tipologia e divisão estrutural ..... 42

06 Área queimada média (ponderada e acumulada) bimensal entre jun/jul de 1997 e abr/mai de 2000, para as três savanas estudadas em Roraima ..... 43

07 Freqüência de queima média nos sistemas de savanas Sg, Sp e Tp situados no extremo norte/nordeste de Roraima, entre jun/jul 1997 e abr/mai 2000 ..... 45

08 Freqüência de queimas entre biênios sequenciais (97/98 - 98/99 e 98/99 - 99/00) ..... 46

09 Biomassa rasteira acima do solo (pré e pós-queima), estoque de carbono e fator de combustão (FC) para as savanas Sg (gramíneo-lenhosa), Sp (parque) e Tp (estépica-parque) de Roraima ..... 68

10 Modelos de regressão para estimativa da biomassa (individual) acima do solo das espécies arbóreas ou arbustivas (viva ou morta em pé) com Db $ 2 cm presentes em três sistemas de savanas (Sg, Sp e Tp) de Roraima, Amazônia ..... 70

11 Número de indivíduos arbóreos (vivo e morto) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp) por sub-sistemas vegetacionais (ralo, médio e denso) ..... 71

12 Biomassa arbórea acima do solo (viva e morta) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp) por sub-sistemas vegetacionais (ralo, médio e denso) ..... 72

13 Biomassa arbórea acima do solo (viva e morta) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp) por diâmetro de base e grupo de espécie ..... 74

14 Fator de combustão das folhas e da madeira (viva e morta) presente nos indivíduos das savanas Sg, Sp e Tp em Roraima, por grupo de espécie ..... 76

15 Concentração de carbono (%) nas diferentes frações da biomassa arbórea acima do solo (viva e morta) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp), por grupo de espécies e fracionamento dos componentes arbóreos ..... 77

16 Resumo geral da biomassa total acima do solo (viva e morta), do destino (estoque e liberação) do carbono e do fator de combustão para as três savanas (Sg, Sp e Tp) de Roraima, nas fases pré e pós-queima ..... 79

17 Destino do estoque de carbono exposto anualmente, considerando a área média das paisagens Sg, Sp e Tp, que não sofreram a troca do uso da terra no decênio 1990-99 ..... 81

18 Estudos globais sobre avaliação da biomassa pré e pós-queima em

savanas ..... 84

19 Destino do carbono presente na pré-queima (%), exposto a queimadas em diferentes tipos de biomassa e usos da terra em Roraima ..... 89

20 Parâmetros de cálculo para dinâmica do carbono acima do solo em função do tipo de savana e do ano climático ..... 107

21 Número de indivíduos e taxa de mortalidade entre os diferentes grupos de espécie para as áreas MC (protegida e AB (não-protegida) no período de fev/95 a ago ..... 112

22 Dinâmica porcentual (%) da concentração das peças lenhosas amostradas por grupos de espécies, classe diamétrica e classe de contato com o solo ..... 116

23 Densidade básica ($g.cm^{-3}$) dos grupos de espécies (Mirixi; Caimbé; Outros) na fase "viva", determinada por tipo de paisagem e classe diamétrica da composição estrutural de cada grupo, por tipo de savana ..... 119

24 Densidade básica ($g.cm^{-3}$) ao longo do período amostral dos grupos de espécies (morto), por classe diamétrica da composição estrutural de cada grupos de indivíduos e classe de contato com o solo, coletados como média para 42 indivíduos investigados em Roraima ..... 121

25 Porcentagem (%) de material lenhoso (casca, cerne e alburno) perdido pelos grupos de espécies ao longo do tempo, em função da classe diamétrica das peças e da classe de contato como solo ..... 123

26 Perda bruta (%) generalizada de material lenhoso de todos os grupos de espécies e classes diamétricas ao longo dos três primeiros anos de coleta ..... 125

27 Taxa logaritímica de perda composta por fogo e fragmentação para todos os grupos de espécies e classes diamétricas ..... 128

28 Revisão dos fatores de emissão ($g.kg^{-1}$) dos gases e do material particulado liberados por queimas em savanas ..... 145

29 Revisão das taxas de emissão molar dos gases e do material particulado liberados por queimas em savanas ..... 147

30 Total de gases e material particulado emitidos anualmente de forma bruta, pela queima da biomassa acima do solo em três ambientes de savana (Sg, Sp e Tp) do norte / nordeste de Roraima (base: década de 1990) ..... 153

31 Estimativa do estoque de biomassa / carbono acima do solo e do destino do carbono no pós-queima nas áreas de vegetação aberta da Amazônia Legal Brasileira que ainda não sofreram a troca do uso da terra (base: decênio de 1990) ..... 154

32 Total de gases bruto e material particulado emitidos anualmente pela queima de diferentes sistemas de savana na Amazônia Brasileira (base : década de 1990) ..... 155

33 Emissões líquidas provenientes de queimadas recorrentes em áreas de vegetação aberta da Amazônia, levando em consideração o $CO_2$ equivalente em um horizonte de tempo de 100 anos ..... 160

# LISTA DE FIGURAS

Figura


01 Queimada em uma savana amazônica (notar emissão de poluentes na passagem do fogo) ..... 06

02 Aspecto geral de uma savana amazônica localizada na região norte / nordeste do Estado de Roraima ..... 13

03 Localização espacial da área de estudo (norte / nordeste do Estado de Roraima, Amazônia Brasileira) ..... 14

04 Perfil fitofisionômico aproximado das eco-regiões de savana estudadas em Roraima (Sg ; Sp ; Tp) ..... 16

05 Aspecto geral das veredas de buritizais (*Mauritia flexuosa*) no sistema Sg (gramíneo-lenhoso) ..... 17

06 Média da precipitação (mm ; n=76), temperatura do ar (ºC ; n=40) e umidade relativa do ar (% ; n =42) para a cidade de Boa Vista no período de janeiro de 1910 a abril de 2000 ..... 20

07 Distribuição dos eco-tipos paisagísticos naturais do Estado de Roraima segundo SUDAM/IBGE (1989) ..... 26

08 Trajeto do transecto percorrido para avaliação dos limites estruturais dos três eco-tipos de savanas (Sg ; Sp ; Tp) estudadas em Roraima (540,1 km) ..... 28

09 Área queimada acumulada (%) para as savanas (Sg, Sp e Tp) de Roraima ..... 44

10 Relação entre precipitação mensal (mm) e área queimada mensal (%) para eco-tipo Sg (gramíneo-lenhoso) ..... 51

11 (A) Biomassa rasteira (Poaceae, Cyperaceae, ervas e folhas mortas); (B) cinzas (marca branca em forma de "V") e material particulado (cor preta) ..... 58

12 Quadra móvel metálica para amostragem de biomassa rasteira pré-queima (A.1) antes e (A.2) depois do corte amostral e, (B) pós-queima ..... 59

13 (A) Alinhamento geral das quadras de amostragem para biomassa rasteira e (B) localização da sub-quadra para coleta de "litter", cinzas e material particulado do pós-queima ..... 60

14 (A) Medida das variáveis independentes e (B) pesagem do fracionamento da biomassa arbórea para aplicabilidade do modelo de regressão de determinação da biomassa seca ..... 64

15 Destino do carbono pré-queima individual (Sg, Sp e Tp) e total (média ponderada) no pós-fogo das savanas de Roraima ..... 80

16 Perfil esquemático de uma árvore com a parte lenhosa "sem" e "em" contato com o solo e a localização dos raios de amostragem ..... 104

17 (A) Peça em fase de coleta no campo (Ano 3 ; em contato ; 5-10 cm) e (B) comparação das peças (discos amostrais) que passaram pelo processo de desenho e escaneamento (Ano 0 e 4, em contato ; > 10 cm) ..... 105

18 Número de indivíduos "iniciais" (fev/95) que permaneceram vivos ao longo do tempo (ago/98) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida) ..... 110

19 Número total de indivíduos vivos presente (iniciais vivos + recrutados vivos) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida) ..... 113

20 Taxa de incremento (-/+) de carbono nos indivíduos vivos (inicial + recrutados) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida) ..... 114

21 Taxa de incremento (-/+) do carbono total (viva + morta ; inicial + recrutada) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida) ..... 115

22 Dinâmica da participação das classes diamétricas ao longo do tempo para o grupo de espécie "Caimbé" (*Curatella americana*) ..... 118

23 Dinâmica da densidade básica ($g.cm^{-3}$) das peças de Caimbé (*Curatella americana)* "em" e "sem" contato com o solo ao longo de uma sequencia temporal ..... 122

24 Perda volumétrica (%) observada nas peças remanescentes de Caimbé (*Curatella americana*) para as três classes de diâmetro ao longo do período amostral ..... 124

25 Perda porcentual conjunta (densidade e volume) das três classes de diâmetro para todas as espécies ..... 126

26 Taxa logarítimica (ponderada) de perda de massa conjunta (densidade e volume) das peças "sem" e "em" contato com o solo dos grupos de espécie (A) Caimbé, (B) Mirixi e (C) Outros para as três classes de diâmetro investigadas ..... 129

27 Resultado da simulação para dinâmica do carbono acima do solo contido na biomassa total (arbórea + rasteira) das três savanas (Sg; Sp; Tp) estudadas em Roraima e da média ponderada por área entre as mesmas ..... 131

## RESUMO

Foi estimada a emissão de $CO_2$, gases-traço ($CH_4$, CO, $N_2O$, $NO_x$ e HCNM = hidrocarbonos não-metanos) e material particulado total (MPT) pela queima e decomposição da biomassa acima do solo em três áreas de savana, sem alteração do uso do solo, localizadas no extremo norte da Amazônia Brasileira, Estado de Roraima. A base de cálculo foi o decênio de 1990. Para tanto, foi necessário medir os seguintes parâmetros de cálculo por tipo de savana analisada : (1) área e freqüência das queimadas, (2) biomassa acima do solo (arbórea e rasteira) antes e depois das queimas, com o respectivo fator de combustão, (3) concentração de carbono de todos os componentes da vegetação, (4) dinâmica da mortalidade / recrutamento (indivíduos e biomassa) das espécies arbóreas em áreas "protegidas" e "não-protegidas" do fogo e (5) taxa de decomposição do material lenhoso (necromassa). Estes dois últimos como forma de auxiliar um modelo de "estado e transição" de dinâmica de carbono acima do solo que determina o incremento de carbono (-/+) através de condicionantes climáticas (anos secos, úmidos ou normais). Além disto, foi necessário revisar todas as taxas de emissão molar e fatores de emissão de cada gás envolvido + MPT no sentido de adequar todos os valores apenas para os estudos brasileiros e evitar o uso de índices de outros continentes que possuem realidade quantitativa e qualitativa diferente da brasileira.

A área total de cada tipo de savana, com a respectiva participação da área sem a troca do uso da terra foi estimada em : Sg (Savana Gramíneo-lenhosa) = 15.057 $km^2$ (13.586 $km^2$), Sp (Savana Parque) = 11.674 $km^2$ (10.553 $km^2$) e Tp (Savana Estépica-parque) = 8.764 $km^2$ (8.172 $km^2$). A área média queimada para cada paisagem foi de 41% para Sg, 34% para Sp e 58% para Tp, levando em consideração o período de julho de 1997 a abril de 2000. Esta variação foi função da maior ou menor presença humana nestas áreas (manejo e fator cultural), em conjunção com os efeitos das situações micro-climáticas criadas pelo gradiente de altitude existente entre os três tipos de savanas. A média ponderada para os três ambientes nos três anos de observação foi de 43%. A freqüência de queimadas média para todas as áreas foi de 1 queima a cada 2-2,5 anos. Do total de área

queimada no mesmo ano climático, em média, mais de 98% queima apenas uma vez, o restante queima duas vezes (< 2%) - em geral com distanciamento de no mínimo 6 meses entre a primeira e a segunda queima. Entre 75-85% do total (em área) queimado anualmente, são de áreas que não queimaram no ano anterior, indicando maior quantidade de biomassa para queimar em etapas seguintes devido ao acúmulo de combustível.

A biomassa total acima do solo (arbórea + rasteira) pré e pós-queima foi de 3.286 $kg.ha^{-1}$ e 1.045 $kg.ha^{-1}$ para Sg, 6.051 $kg.ha^{-1}$ e 2.490 $kg.ha^{-1}$ para Sp e, 6.586 $kg.ha^{-1}$ e 4.105 $kg.ha^{-1}$ para Tp. Estes valores resultaram nos seguintes fatores de combustão (FC) : 68,2% (Sg) , 58,8% (Sp) e 37,7% (Tp) para a biomassa total destes ambientes. Biomassa rasteira foi determinada pelo método direto (corte e pesagem) em 100 sub-quadras de 1 $m^2$ distribuídas ao longo dos três tipos de savanas estudados. Biomassa arbórea foi determinada pelo método indireto com o corte de 130 indivíduos também distribuídos entre os três tipos de savana, por três grupos de espécies pré-determinados por inventários (3,024 ha e 3.601 indivíduos avaliados : 2.820 vivos e 781 mortos), e por três classes diamétricas. O modelo de regressão que melhor se ajustou às variáveis coletadas para todas as espécies e classes de diâmetro foi : $\ln(Bs) = 4,501 + 0,459 \ln(Ht) + 1,589.\ln(Db) + 1,025 \ln(Dc)$, onde Bs = biomassa seca do indivíduo (kg), Db = diâmetro de base (m) medido à 2cm do solo, Ht = altura total (m) e Dc = diâmetro de copa (m) ; $r^2 = 0,984$ ; $P < 0,001$.

Em média, o resultado da relação entre biomassa arbórea e rasteira (pré-queima) foi de 0,13 (Sg), 0,46 (Sp) e 1,20 (Tp), definindo um comportamento diferenciado do fogo em relação à massa presente : maior massa arbórea menor FC total. As concentrações médias ponderadas de carbono (%) por paisagem variaram em função da proporção existente entre as diferentes frações que compunham o total observado nas fases pré e pós-queima (Sg = 36,3% / 43,5% ; Sp = 41,9% / 45,8% ; Tp = 41,9% / 43,7%). Este resultado também determinou o destino do carbono pré-queima, analisado no pós-queima. Do total de carbono pré-existente em Sg, 4,6% foram adicionados aos estoques de carbono de longo prazo (material particulado agregado às cinzas e depositado sobre o solo), 3,1% foram mantidos como estoque de curto prazo (biomassa morta), 21,6% permaneceram na biomassa

viva remanescente e os 70,7% restantes foram presumidamente liberados para a atmosfera, Na mesma ordem, estes valores foram de 2,2%, 3,4%, 35,7% e 58,7% para Sp e 2,1%, 3,4%, 55,3% e 39,2% para Tp.

Aproveitando o roteiro de cálculo do Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC), calculou-se que o montante de carbono afetado por estas três savanas foi de 2,87 x $10^6$ t C.ano$^{-1}$, considerado o período de 1990/99. Destes, 1,51 x $10^6$ t C.ano$^{-1}$ foram emitidos de forma instantânea para a atmosfera e 0,08 x $10^6$ t C.ano$^{-1}$ foram depositados sobre o solo na forma de partículas de carbono (estoques de longo prazo).

As taxas de mortalidade, decomposição da necromassa e recrutamento de indivíduos arbóreos foram associadas às mesmas taxas estimadas para biomassa rasteira e, ambas foram transformadas em incremento (-/+) de carbono em áreas protegida e não-protegida do fogo por tipo de ano climático (seco, úmido e normal). Na simulação do modelo para um horizonte de tempo de 100 anos e, levando em consideração uma média ponderada entre as três savanas, foi estimada uma perda líquida total de carbono de -1,81 kg C.ha$^{-1}$.ano$^{-1}$ (arbóreo = -3,06 kg C.ha$^{-1}$.ano$^{-1}$ e rasteiro = +1,25 kg C.ha$^{-1}$.ano$^{-1}$). Embora necessitando de uma maior volume de dados para completar com menos incertezas o modelo, este resultado sugere que a freqüência de queimas e a quantidade de anos secos pode levar ambientes de savanas a perder pequenas quantidades de carbono para a atmosfera na forma de $CO_2$, enriquecendo a atmosfera e impossibilitanto a recuperação da massa arbórea perdida pelo fogo.

Para o cálculo das emissões dos gases e do MPT, foram aproveitados todos os parâmetros listados acima como sugerido pelo IPCC. Além disto, como base dos cálculos, foram adotados os fatores de emissão de cada gás e do MPT, ao invés de usar as taxas de emissão molar que embutiam um maior grau de incertezas para ambientes brasileiros : (1) $CO_2$ = 1.721 ± 37 g $CO_2$ .kg de Biomassa Consumida (BC)$^{-1}$, (2) CO = 49,8 ± 15,4 g CO.kg de BC $^{-1}$, (3) $CH_4$ = 1,31 ± 0,45 g $CH_4$.kg de BC $^{-1}$, (4) HCNM = 2,12 ± 0,656 g HCNM.kg de BC $^{-1}$, (5) $N_2O$ = 0,115 ± 0,064 g $N_2O$.kg de BC $^{-1}$ , (5) $NO_x$ = 4,11 ± 0,98 g $NO_x$. kg de BC $^{-1}$ e (6) MPT = 12,53 ± 8,03 g MPT.kg de Carbono Liberado $^{-1}$. Na década de 1990, a queima de biomassa acima do solo nas três principais tipos de savanas em Roraima liberou

anualmente para a atmosfera um total bruto de 6,348 ± 0,146 x $10^6$ t $CO_2$, 0,005 ± 0,002 x $10^6$ t $CH_4$, 0,184 ± 0,057 x $10^6$ t CO, 0,008 ± 0,002 x $10^6$ t HCNM, 0,00042 ± 0,00023 x $10^6$ t $N_2O$, 0,015 ± 0,004 x $10^6$ t $NO_x$, além de 0,019 ± 0,012 x $10^6$ t MPT.

A emissão de gases do efeito estufa das savanas da Amazônia Legal Brasileira sem a troca do uso da terra foi estimada usando 783.866 $km^2$ como a área total de savanas na região. Dessa área, 611.267 $km^2$ são de sistemas "não-florestais" puros (savanas) e 172.599 $km^2$ são de sistemas oligotróficos (campinas e campinaranas) e pioneiros. Um total de 454.707 $km^2$ foram estimados a ainda possuir o uso da terra inalterado com base na década de 1990, sendo que, em média, 164.642 $km^2$ foram atingidos anualmente por queimadas (± 36%). A biomassa total atingida pelo fogo (271 x $10^6$ t) resultou em um total de 121 x $10^6$ t de carbono afetado anualmente nestas áreas (65,8 x $10^6$ t $C.ano^{-1}$ liberados para a atmosfera). A soma destes sistemas abertos na Amazônia sem a troca do uso da terra lançou anualmente, em média, um total de 175,8 ± 4,0 x $10^6$ t $CO_2$, 0,134 ± 0,046 x $10^6$ t $CH_4$, 5,084 ± 1,569 x $10^6$ t CO, 0,217 ± 0,067 x $10^6$ t HCNM, 0,012 ± 0,006 x $10^6$ t $N_2O$ e 0,420 ± 0,099 x $10^6$ t $NO_x$, além de 0,825 ± 0,529 x $10^6$ t MPT.

Emissões de gases traço podem ser convertidos em equivalentes de $CO_2$ usando os potenciais de aquecimento global de 100 anos de cada gás. Os valores médios líquidos anuais para as emissões dos sistemas não-florestais que queimam sem a troca do uso da terra na Amazônia são de 6,61 ± 2,99 x $10^6$ t de gases equivalentes ao $CO_2$ ou 1,80 ± 0,82 x $10^6$ t C-$CO_2$. Estes valores representam 0,7% (0,4-1,0%) das emissões líquidas comprometidas da Amazônia que não são atualmente computadas nas estimativas oficiais das emissões antropogênicas brasileiras.

**Palavras-chave** : Savanas, Cerrados, Emissão de Gases do Efeito Estufa, Carbono, Queima de Biomassa, Roraima, Amazônia

## ABSTRACT

Estimates were made of greenhouse gas emissions ($CO_2$, $CH_4$, CO, $N_2O$, $NO_x$ and non-methane hydrocarbons, or NMHC) and total particulate matter (TPM) from burning and decomposition of aboveground biomass (without change in land use) in three savanna areas in the state of Roraima, located in the northernmost portion of Brazilian Amazonia. The decade of the 1990s was used as the basis of calculation. The following parameters were measured for each savanna type analyzed: (1) area and burning frequency, (2) pre- and post-burn aboveground biomass (trees and grasses) and their respective combustion factors, (3) carbon concentration (%) of all components of the vegetation, (4) mortality and recruitment (individuals and biomass) of the tree species in areas that were "protected" from fire and "not protected" from fire, and (5) decomposition rate of the dead woody material (necromass). The latter two cases are used to construct a state transition model of the dynamics of aboveground carbon that calculates the increment of carbon (- /+) under different climatic conditions (dry, wet or normal years). The full range of existing studies of molar emission rates and emission factors for each greenhouse gas and for TPM was reviewed, but only Brazilian values were used to parameterize the model.

The total area of each savanna type in the original vegetation and the area of each that participates in processes without a change in land use were estimated as follows: Sg (Graminaceous-woody Savanna) =15,057 $km^2$ (13,586 $km^2$), Sp (Savanna Park) = 11,674 $km^2$ (10,553 $km^2$) and Tp (Steppe-like Savanna - Park) = 8,764 $km^2$ (8,172 $km^2$). The mean areas burned in each savanna type were: 41% for Sg, 34% for Sp and 58% for Tp over a three-year observation period (July 1997 - April 2000). The values varied as a result of greater or smaller human presence in these areas (management and cultural factors), in conjunction with effects of the different micro-climates created by the altitudinal gradient that exists in the three savanna types. The weighted mean for the three savanna types for the three years of observation was 43%. The mean burning frequency for all areas was one burn every 2-2.5 years. Ninety-eight percent of the total area burned in any given climatic year burned only once. The remaining area burned twice (<2%) – usually with an

intervening period of at least six months between the first and second burn. Of the total area burned annually, 75-85% did not burn in the previous year, indicating that a large amount of biomass is exposed to burning in subsequent stages due to fuel accumulation.

The total pre- and post-burn aboveground biomass values were 3,286 $kg.ha^{-1}$ and 1,045 $kg.ha^{-1}$ for Sg, 6,051 $kg.ha^{-1}$ and 2,490 $kg.ha^{-1}$ for Sp, and 6,586 $kg.ha^{-1}$ and 4,105 $kg.ha^{-1}$ for Tp. These values resulted in the following combustion factors: 68.2% (Sg), 58.8% (Sp) and 37.7% (Tp). Grassy biomass was determined by the direct method in 100 1-$m^2$ sub-quadrats distributed in the three savanna types studied. Tree biomass was determined by the indirect method, cutting 130 individuals distributed among the three savanna types studied, among three species groups that were pre-determined by inventories (3,024 ha and 3,601 individuals assessed : 2,820 live and 781 dead), and among three diameter classes. The regression model that best fit the data for the variables collected for all species and diameter classes was: $\ln(Bs) = 4.501 + 0.459 \ln(Ht) + 1.589 \ln(Db) + 1.025 \ln(Dc)$, where Bs = dry individual biomass (kg), Db = base diameter (m) measured 2 cm above the ground, Ht = total height (m) and Dc = crown diameter (m) ; $r^2 = 0.984$; $P < 0.001$).

On average, the ratio between tree and grassy biomass (pre-burn) was 0.13 (Sg), 0.46 (Sp) and 1.20 (Tp), indicating different fire behavior depending on biomass present: the greater the tree biomass the smaller the total combustion factor. The weighted mean carbon concentrations (%) for the savanna types varied as a function of the proportion of the different fractions that made up the observed total in the pre- and post-burn phases (Sg = 36.3% and 43.5%; Sp = 41.9% and 45.8%; Tp = 41.9% and 43.7%). This result also determined the fate of pre-burn carbon, analyzed in the post-burn phase. Of the total pre-burn carbon in Sg, 4.6% was added to long-term stocks of carbon (particulate matter deposited on the soil with the ashes), 3.1% was maintained as a short-term stock (dead biomass), 21.6% remained as live biomass, and the remaining 70.7% was presumed to be released to the atmosphere. In order, these values were 2.2%, 3.4%, 35.7% and 58.7% for Sp, and 2.1%, 3.4%, 55.3% and 39.2% for Tp.

Using the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

calculation method, the amount of carbon affected by burning in these three savanna types was 2.87 x $10^6$ t C. $year^{-1}$, considering the 1990-1999 period. Of this total, 1.51 x $10^6$ t C.$year^{-1}$ were emitted instantaneously to the atmosphere and 0.08 x $10^6$ t C. $year^{-1}$ were deposited on the ground in the form of carbon particles (long-term pool).

Mortality, recruitment and dead-tree decomposition rates were associated with the estimates of the same rates for grassy biomass and both were expressed as carbon increments or losses in areas "protected" and "not protected" from fire by climatic year type (dry, wet and normal). Model simulations over a 100-year time horizon, taking into consideration a weighted average among the three savanna types, estimated a net loss of total carbon of -1.81 kg C.$ha^{-1}$.$year^{-1}$ (tree = -3.06 kg C.$ha^{-1}$.$year^{-1}$ and grassy = +1.25 kg C.$ha^{-1}$.$year^{-1}$). Although more data would be needed to reduce the uncertainties in the model, this result suggests that the burning frequency and the proportion of dry years can cause savannas to lose small amounts of carbon to the atmosphere as $CO_2$ and, since recovery of the mass lost through burning becomes impossible, the atmosphere is enriched.

All parameters listed above for gas emissions and TPM were calculated as suggested by the IPCC. In addition, emission factors for each gas and for TPM were used (rather than using molar emission ratios which have greater uncertainties for Brazilian ecosystems). Calculated amounts emitted were: (1) $CO_2$ = 1,721 ± 37 g $CO_2$.kg of Consumed $Biomass^{-1}$ (CB), (2) CO = 49.8 ± 15.4 g CO.kg $CB^{-1}$, (3) $CH_4$ = 1.31 ± 0.45 g $CH_4$.kg $CB^{-1}$, (4) NMHC = 2.12 ± 0.656 g NMHC.kg $CB^{-1}$, (5) $N_2O$ = 0.115 ± 0.064 g $N_2O$.kg $CB^{-1}$, (5) $NO_x$ = 4.11 ± 0.98 g $NO_x$.kg $CB^{-1}$ and (6) TPM = 12.53 ± 8.03 g TPM.kg of $Released\ Carbon^{-1}$. In the 1990s, aboveground biomass burning in the three principal savanna types in Roraima released annually to the atmosphere a gross total of 6.348 ± 0.146 x $10^6$ t $CO_2$, 0.005 ± 0.002 x $10^6$ t $CH_4$, 0.185 ± 0.057 x $10^6$ t CO, 0.008 ± 0.002 x $10^6$ t NMHC, 0.00042 ± 0.00023 x $10^6$ t $N_2O$, 0.015 ± 0.004 x $10^6$ t $NO_x$, in addition to 0.019 ± 0.012 x $10^6$ t TPM.

Greenhouse gas emissions from biomass burning in savannas without change in land use for the Brazilian Legal Amazon region were estimated using 783,866 $km^2$ as the total area of savannas in the region. Of this area, 611,267 $km^2$ was considered pure "non-forest" systems (savannas) and 172,599 $km^2$ were oligotrophic systems (campinas and campinaranas) and pioneer formations. A total of

454,707 $km^2$ were estimated to be in land uses that were unaffected by land-use change in the 1990s and, on average, 164,642 $km^2$ (± 36%) was affected annually by burning. The total aboveground biomass annually affected by fire (271 x $10^6$ t) contained 121 x $10^6$ t C (65.8 x $10^6$ t $C.year^{-1}$ released). All of these systems of non-forest vegetation in Amazonia (without change in land use) were estimated to release annually a total of 175.8 ± 4.0 x $10^6$ t $CO_2$, 0.134 ± 0.046 x $10^6$ t $CH_4$, 5.084 ± 1.569 x $10^6$ t CO, 0.217 ± 0.067 x $10^6$ t NMHC, 0.012 ± 0.006 x $10^6$ t $N_2O$ and 0.420 ± 0.099 x $10^6$ t $NO_x$, in addition to 0.825 ± 0.529 x $10^6$ t TPM.

Trace gas emissions can be converted to $CO_2$ equivalents using the 100-year global warming potential of each gas. The average net annual values emitted by burning in "non-forest" systems without land-use change in Brazilian Amazonia are 6.61 ± 2.99 x $10^6$ t total $CO_2$ gas equivalent or 1.80 ± 0.82 x $10^6$ t $CO_2$-equivalent C. These values represent 0.7% (0.4-1.0%) of net emissions from Amazonia that are not presently computed in official estimates of Brazilian emissions.

**Key words** : Savannas, Cerrados, Greenhouse Gas Emissions, Carbon, Biomass Burning, Roraima, Amazonia.

# Capítulo 1
# Introdução

As três últimas décadas vêm presenciando um maior interesse e um acentuado aumento na quantidade de estudos que envolvem a emissão e o seqüestro de carbono pelos ecossistemas terrestres tropicais. Considerando o solo (profundidade até 1 m) e a biomassa vegetal acima da superfície, estima-se que o carbono total estocado nestes ecossistemas ultrapasse a 30% do total armazenado em todo o sistema continental do planeta (TABELA 1).

TABELA 1 - Estimativa bruta do total de carbono distribuído em diferentes compartimentos dos trópicos (florestas e savanas) e outros sistemas terrestres (Gt = 1 bilhão de toneladas).

| Sistemas/Compartimento[1] | | Vegetação Gt C | Liteira Gt C | Solo Gt C | Total | | Área | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Gt C | (%) | $10^6$ km$^2$ | (%) |
| Trópicos | Florestas | 239,6 | 5,2 | 122,9 | 367,7 | 16,3 | 15,4 | 10,5 |
| | Savanas | 65,6 | 3,9 | 264,0 | 333,5 | 14,8 | 18,2 | 12,4 |
| Outros[2] | | 254.6 | 50.4 | 1248.7 | 1553,7 | 68,9 | 113,7 | 77,2 |
| Total | | 559,8[3] | 59.5 | 1635,6[4] | 2254,9 | 100 | 147,3[5] | 100 |

(1) Modificado de ATJAY *et al.* (1979), pelo uso da média combinada de diferentes investigadores listados;
(2) Outros 13 tipos diferentes de sistemas terrestres naturais;
(3) Estimativa similar a de OLSON *et al.* (1978) (558 Gt C) e superior a do IPCC (2000) (466 Gt C);
(4) Outras estimativas indicam 1220 Gt C (SOMBROEK *et al.*, 1993) e 1395 Gt C (POST *et al.*, 1982);
(5) Valores totais variam de autor para autor; em geral de 130 a 150 x $10^6$ km$^2$. A estimativa mais recente é apresentada pelo IPCC (2000) : 151,2 x $10^6$ km$^2$.

O carbono possui grande importância no balanço energético global. Sua principal forma de liberação, o gás carbônico ($CO_2$), tem a capacidade de absorver calor radiante na forma de raios infra-vermelhos. A elevação da concentração deste gás na atmosfera e de outros gases-traço como $CH_4$, $NO_x$, $N_2O$, HCNM e CO (efeito indireto), pode causar mudanças no atual balanço de energia radiante retida entre a atmosfera e a superfície terrestre devido ao aumento do potencial de "armadilhamento" dos raios infra-vermelhos entre estes dois

compartimentos (LASHOF, 1989; HOUGHTON, 1990a; HARRIES, 1996). É o chamado ***"Efeito Estufa"*** que, amparado no poder bloqueador destes gases, pode estar sendo incrementado pelos atuais níveis de atividade humana na Terra, aumentando a probabilidade de aquecimento global futuro.

A partir dos resultados obtidos nas estações de Mauna Loa (Hawaii) e do Pólo Sul, determinou-se que desde 1850 a concentração de $CO_2$ na atmosfera foi elevada de pouco mais de 280 ppmv para 358 ppmv em 1994 (HOUGHTON *et al.*, 1995a). Isto representa um crescimento anual médio pouco acima de 0,5 ppmv.ano$^{-1}$ entre os anos 1970 e 1980, elevado para 1,5 ppmv.ano$^{-1}$ ao final da década de 1980 devido à forte ampliação das atividades antrópicas em nível mundial (HOUGHTON *et al.*, 1995b; TABELA 2). Este aumento vem sendo provocado por duas grandes fontes de emissão líquida de carbono (equivalente em $CO_2$ e gases traços) para a atmosfera: (1) queima de combustíveis fósseis e (2) queima e decomposição da biomassa vegetal (BOLIN, 1977; WOODWELL, 1978 , 1984; HOUGHTON *et al.*, 1992). A primeira, atualmente com certa precisão na quantificação das emissões (cerca de 6,3 ± 0,6 Gt C anuais entre 1989-98), é produto exclusivo da revolução industrial que teve início entre os séculos XVIII/XIX (IPCC, 2000). Os países que mais emitem gases por esta fonte são, em sua maioria, os industrializados e de maior desenvolvimento tecnológico como os Estados Unidos, a Comunidade Econômica Européia (CEE) e o Japão.

A segunda fonte tomou maior corpo no início deste século quando foram ampliadas ou abertas novas fronteiras agrícolas, principalmente nos países com parques industriais pouco desenvolvidos ou em fase de desenvolvimento das zonas tropicais asiáticas, africanas e sul-americanas, onde havia disponibilidade de terras a serem ocupadas por uma crescente massa populacional na Terra (ver comentários sobre crescimento populacional e recursos em EHRLICH *et al.*, 1977). Neste cenário, o país de destaque vem sendo o Brasil por ainda deter a maior área intacta de reserva tropical do planeta - ***Amazônia*** - e, portanto, ser um potencial emissor global de carbono devido a intensa troca do uso da terra ao longo dos últimos anos (FEARNSIDE, 1992; 1996; 1997a).

TABELA 2 - Concentração pré-industrial, recentes taxas de incremento e 'radiative forcing' dos principais gases do efeito estufa.

| **Parâmetros/Gases** | **$CO_2$** | **$CH_4$** | **$N_2O$** |
|---|---|---|---|
| Concentração pré-industrial | 280 ppm | 700 ppb | 275 ppb |
| Concentração em 1994 | 358 ppm | 1720 ppb | 312 ppb |
| Taxa de Incremento Anual (década de 1980)(1) | 1,5 ppm (0,4%.ano$^{-1}$) | 10 ppb (0,6%.ano$^{-1}$) | 0,8 ppb (0,25%.ano$^{-1}$) |
| Tempo de Vida na Atmosfera (anos) | variável(2) | 12-17 | 120 |
| 'Radiative forcing' (3) (W.m$^{-2}$) | 1,56 (63,7%) | 0,47 (19,2%) | 0,14 (5,7%) |

Fonte: Modificado de HOUGHTON *et al.* (1995a) e IPCC-WGI (1995).

(1) As taxas são médias para o período de 1984-94.
(2) Não é possível definir corretamente o tempo de vida do $CO_2$ atmosférico por causa das diferentes taxas de seqüestro pelos diversos processos de captação dos reservatórios terrestres. As estimativas variam de 50-200 anos. Por exemplo, os cenários do IPCC (Intergovernamental Panel on Climate Change) assumem uma vida média de 120 anos, presumindo uma composição constante da atmosfera.
(3) ***'Radiative forcing'***, ou ***'forçamento radiativo'***, é a perturbação no balanço de energia no sistema Terra-Atmosfera (em Watts por metro quadrado). Atualmente esta perturbação é estimada em 2,45 W.m$^{-2}$ e, a diferença no somatório acima apresentado (11,4% ou 0,28 W.m$^{-2}$) refere-se a outros gases que também possuem tal efeito, como os CFC (cloro-flúor-carbono). Este desequilíbrio radiativo no sistema é que provoca um incremento no efeito estufa e, consequentemente, um aumento na temperatura média da superfície terrestre.

## 1.1 As Incertezas e o Papel da Amazônia Brasileira

Por possuir uma extensa complexidade de sistemas ecológicos, os cálculos da quantificação das emissões de carbono provenientes da queima e decomposição da biomassa em zonas tropicais pela troca do uso da terra, ainda possuem grandes incertezas. O IPCC (**I**ntergovernamental **P**anel on **C**limate **C**hange), um comitê internacional que avalia cientificamente os potenciais impactos sobre o clima, estima que o montante mundial anual liberado por esta fonte entre 1989 e 1998, tenha sido de 1,6 ± 0,8 Gt C.ano$^{-1}$ **(1)** ($CO_2$ expresso em C) dentro de

(1) Valores mais recentes calculados por FEARNSIDE (2000a) indicam que para o período de 1981-90, o total emitido pela troca do uso da terra em sistemas tropicais seja da ordem de 2,4 Gt C.ano$^{-1}$; 50% superior ao valor adotado pelo IPCC (1,6 Gt C.ano$^{-1}$).

um universo de emissão de 7,9 Gt C.ano$^{-1}$ (IPCC, 2000 : p. 5).

Do total emitido anualmente pelo Brasil (aproximadamente 0,35 Gt C no ano base de 1990), cerca de 80% foram provenientes das alterações antrópicas nos sistemas amazônicos: 0,274-0,285 Gt (FEARNSIDE, 1997a). Isto significa que, sozinho, o Brasil é responsável por cerca de 4,5% das emissões globais de carbono ou, ± 17,5% do total de emissões exclusivas provocadas pela troca do uso da terra. Em qualquer das duas situações, o país assume uma importante condição de emissor de gases do efeito estufa.

Pensando nisto, a Amazônia possui um papel relevante na manutenção do balanço energético mundial por suportar um gigantesco estoque de carbono distribuído em seus diferentes ecossistemas. Este potencial de armazenagem transfere para a região grande responsabilidade no que concerne a distúrbios na paisagem natural que podem trocar o uso da terra e incrementar o carbono atmosférico, afetando os ciclos biogeoquímicos globais (BOLIN, 1977; SEILER & CRUTZEN, 1980; HOUGHTON *et al.*, 1983; GREENBERG *et al.*, 1984; FEARNSIDE, 1986; CRUTZEN & ANDREAE, 1990; HOUGHTON, 1990b; SETZER & PEREIRA, 1991).

A grosso modo, os ecossistemas amazônicos que contribuem com emissões de gases do efeito estufa pela queima e decomposição de biomassa vegetal podem ser divididos em dois blocos : (1) florestais e (2) não-florestais (áreas abertas do tipo savanas ou cerrados). Por representarem a principal paisagem da região, os sistemas florestais naturalmente chamaram a atenção para a maioria dos trabalhos científicos regionais das últimas duas décadas. Isto foi tanto pelo enorme espaço original que ocupavam (cerca de 4 x $10^6$ km$^2$ de uma área total de 5 x $10^6$ km$^2$ da Amazônia Legal), como também pelas elevadas taxas de desmatamento verificadas nos últimos anos que fez com que a área de floresta original fosse reduzida em mais de 551.000 km$^2$ ou cerca de 13,8% até 1998 (INPE, 2000).

O desflorestamento concorre para que o potencial de reflexão de energia radiante (albedo) seja reduzido pela introdução de sistemas menos densos como pastagens. Isto acarreta aumento na temperatura e menor capacidade de

estocar água no solo, além de reduzir o tempo médio de transferência da umidade do solo para a atmosfera (MYERS, 1989; SHUKLA *et al.*, 1990). Modelos recentes tem demonstrado que em nível regional e global, este fato pode ocasionar uma real diminuição na precipitação (ROCHA *et al.*, 1996 ; FISCH *et al.*, 1997) e alterações no sistema climático da Terra (HENDERSON-SELLERS *et al.*, 1988; KIEHL, 1992; HENDERSON-SELLERS, 1996).

Entretanto, as savanas amazônicas representam uma parcela significativa dos sistemas terrestres da região que, da mesma forma que as florestas, vem sofrendo interferências em seus ambientes naturais devido à introdução de cultivos agrícolas (com troca do uso da terra) e queimadas regulares (sem troca do uso da terra) (FIGURA 1). Isto transforma os ecossistemas de savana em importantes fontes terrestres de emissão de gases do efeito estufa que podem influenciar no balanço global do carbono (SEILER & CRUTZEN, 1980; WARD *et al.*, 1992; MCNAUGHTON *et al.,* 1998; HOFFA *et al.,* 1999).

HAO & WARD (1993) e ANDREAE (1996) sugeriram que ¶40% de toda a biomassa global queimada anualmente seria representada por queimadas em savanas. Neste cenário, o Brasil se colocaria também em papel de destaque nas emissões globais porque possui extensas áreas desta paisagem distribuídas não só pela Amazônia como também na região centro-oeste do país, a qual detêm as maiores áreas de cerrados afetadas pela agricultura (KLINK *et al.*, 1993).

FIGURA 1 - Queimada em uma savana amazônica (notar emissão de poluentes na passagem do fogo).

## 1.2 O Nível de Conhecimento das Savanas Amazônicas no Contexto das Emissões Regionais e Globais

Embora a extensão das savanas possa variar devido às diferentes definições atribuídas a este tipo de vegetação (ver BEARD, 1953 e COLE, 1960), é importante destacar que estes sistemas de áreas abertas fazem parte de um grande complexo amazônico com escassez de estudos que avaliem o real potencial destas áreas no lançamento de gases para a atmosfera.

A área total das savanas (cerrados) brasileiras varia entre 2,0-2,5 milhões de $km^2$ dependendo da interpretação fitossociológica e do método de medição de cada autor. Para as savanas da Amazônia Legal Brasileira, os números

podem variar de 694.000 $km^2$ (FEARNSIDE & FERRAZ, 1995) até 850.000 $km^2$ (SKOLE & TUCKER, 1993) ou, de 13% a 17% de toda a região. Esta variação é devido a inclusão ou exclusão de sistemas de vegetação pioneira e/ou paisagens oligotróficas (campinas / campinaranas) como parte das savanas regionais. Independente desta variação, as savanas amazônicas ocupam uma área de extensão significativa que vem sofrendo regularmente queimadas e que, do ponto de vista das emissões de $CO_2$ e gases-traço para a atmosfera, são mal quantificados (NEPSTAD *et al.*, 1997).

Apesar de seu papel ecológico, raros são os estudos que tratam especificamente da quantificação das emissões antropogênicas[(2)] por este tipo de sistema amazônico. Dos trabalhos produzidos em grande escala no Brasil sobre emissão de gases por savanas, a maioria absoluta se deteve em avaliações dos cerrados do centro-oeste, próximo do chamado “Arco do Desmatamento”. Destes, apenas dois se propuseram a estimar o potencial de emissão regional mesmo com a falta e/ou incertezas de parâmetros de cálculos confiáveis, como por exemplo, a extensão da área média queimada anualmente. As investigações mais importantes e de grande escala, foram derivadas de levantamentos (aéreos e terrestres) das taxas de emissão molar e dos fatores de emissão de gases e material particulado pela queima da biomassa dentro dos períodos secos regionais. A maioria dos dados para savanas foram colecionados a partir de estudos conjugados que visavam a avaliação das queimadas em florestas na Amazônia. Entre estes trabalhos destacam-se :

(1) GREENBERG *et al.* (1984) e CRUTZEN *et al.* (1985) que, trabalhando em conjunto entre 1979/80, determinaram algumas taxas de emissão molar de poluentes atmosféricos emitidos pela queima de biomassa no Brasil Central (cerrado) e na Amazônia Central (floresta);

---

(2) Aqui eu vou considerar que as emissões de gases do efeito estufa por savanas amazônicas são totalmente provenientes de ações humanas. Embora seja reconhecida a probabilidade de que parte das emissões possa ser provocada por eventos naturais (p. ex. raios), é pouco provável que o total de área queimada ou mesmo o volume de gases emitidos (caso ocorram) por esta fonte, possa vir a fazer frente ao total antropogênico.

(2) ANDREAE *et al.* (1988) que, durante o projeto ABLE-2A em 1985, determinaram taxas molares mixadas (cerrado e floresta) para a Amazônia;

(3) WARD *et al.* (1991) e KAUFMAN *et al.* (1992) pelo projeto BASE-A em 1989 e, WARD *et al.* (1992) pelo projeto BASE-B em 1990, mediram fatores de emissão para material particulado e gases-traço de queimadas em cerrados e florestas;

(4) FEARNSIDE (1992 ; 1996 ; 1997a) estimou as emissões líquidas comprometidas (committed) dos cerrados presentes na Amazônia Legal Brasileira, com troca do uso da terra, para o ano de 1990, a partir de levantamentos de produção de lenha para carvão em Carajás/PA e em Mato Grosso pelo Projeto RADAMBRASIL (principalmente "cerradões")[(3)];

(5) SCHROEDER & WINJUM (1995) que realizaram uma estimativa geral do fluxo das emissões brasileiras por troca do uso da terra envolvendo também as áreas abertas nacionais (campos e cerrados);

(6) PEREIRA *et al.* (1996), KIRCHHOFF & ALVALÁ (1996), BLAKE *et al.* (1996) e outros, pelo projeto TRACE-A que em 1992 avaliaram o potencial de emissão de aerosóis e gases-traço dos cerrados do Brasil Central;

(7) REID & HOBBS (1998), VANDERLEI MARTINS *et al.* (1998), FEREK *et al.* (1998), entre outros, pelo projeto SCAR-B que em 1995 examinaram fatores de emissão de gases e as propriedades físicas e óticas das partículas emitidas pelos fogos em florestas, cerrados e pastagens na região Amazônica e nos cerrados do Brasil Central.

Os demais trabalhos que exibem parâmetros para os cálculos de emissão (biomassa, % carbono, etc.) são em sua maioria oriundos dos cerrados do

---

(3) Os dados de biomassa de "cerrados" destes estudos sofreram alterações e foram revisados em FEARNSIDE (2000a ; 2000b), alavancados pelas estimativas de KAUFFMAN *et al.* (1994), GRAÇA (1997) e CASTRO & KAUFFMAN (1998).

Brasil Central. Portanto, de forma geral, é possível afirmar que as savanas amazônicas não possuem dados básicos sistematizados para o cálculo de emissões por queimadas em seus sistemas. Entretanto, da mesma forma que os cerrados do centro-oeste, elas possuem freqüentes queimadas que provocam a emissão de grandes massas de gases do efeito estufa para a atmosfera e que podem influenciar no balanço do carbono em escala global.

De modo geral, a recomendação do IPCC/OECD (1994a) e IPCC (1997) para estes sistemas de vegetação aberta é de que apenas os gases-traço $CH_4$, CO, $NO_x$ e $N_2O$ sejam levados em consideração nos cálculos do balanço global, desconsiderando o material particulado, os HCNM e, principalmente, o $CO_2$. A hipótese corrente é que o mesmo volume de gás carbônico que é emitido pela queima da biomassa das savanas, seja removido da atmosfera no período seguinte devido ao rápido recrescimento da vegetação (DELMAS *et al.*, 1991a; IACOBELLIS *et al.*, 1994; HURST *et al.*, 1996). Contudo, esta presunção elimina dois fatores: (1) a possibilidade de mais de uma queima em um mesmo ano e em uma mesma área (por exemplo, antes e logo após a estação chuvosa) e (2) o impacto da constância do fogo (alta freqüência) no estrato arbóreo, causando uma limitação no crescimento e/ou uma demora no estabelecimento de novos indivíduos que dependem de condições ambientais mínimas favoráveis para se desenvolver (HOPKINS, 1965; SAN JOSÉ & MEDINA, 1975; HOFFMANN, 1999). Ambos os casos podem influenciar na distribuição e no tempo médio que parte do carbono permanece na atmosfera.

## 1.3 Objetivo Geral

Partindo da importância das savanas amazônicas no contexto regional e global das emissões de gases do efeito estufa, este estudo tem por objetivo estimar o estoque e a liberação de carbono e, a emissão bruta de $CO_2$, gases-traço e material particulado provenientes da queima e decomposição da biomassa vegetal acima do solo em três tipos de savanas encontradas no extremo norte da Amazônia

Brasileira (Roraima), afetadas regularmente pelo fogo, e que preservam o uso da terra. A montagem do modelo de liberação e seqüestro de carbono nestes sistemas leva em consideração o intervalo base de 1990-99 e, as recomendações do IPCC/OECD (1994a, 1994b, 1994c) e do IPCC (1997). Os parâmetros de cálculos determinados para cada eco-região foram (1) área e freqüência das queimadas; (2) biomassa acima do solo antes e depois do fogo, com o respectivo fator de combustão, (3) dinâmica da mortalidade (indivíduos e biomassa) das espécies arbóreas e (4) taxa de decomposição do material lenhoso morto (necromassa).

A idéia geral deste estudo foi a de indicar uma estimativa primária da quantidade de carbono que vem sendo emitida pela queima e decomposição e/ou seqüestrada pela recuperação da biomassa acima do solo nestes sistemas de vegetação aberta na Amazônia dentro do período de 1990-99, podendo ser aplicado ao ano base de 1990 a título de inclusão no inventário nacional de emissões antrópicas de gases do efeito estufa (ver MIGUEZ, 2000). A estimativa foi feita através de um exercício regional que, mesmo de forma bruta, possibilitou entender com melhor clareza qual o papel destes sistemas dentro das discussões sobre mudanças climáticas globais, alimentando as atuais estimativas de fluxo e estoques de carbono da região. Estes, por sua vez, se refletem nos debates sobre balanço anual de emissão de gases por país, que vem sendo negociado desde a "Convenção Quadro sobre Mudanças do Clima", realizada no Rio de Janeiro em 1992 - um acordo assinado por 155 países mais a União Européia que, em resumo, implica que a responsabilidade pelo aquecimento global seja determinada pelo balanço anual das emissões de cada país.

## 1.4 Modo de Apresentação do Estudo

A apresentação deste estudo foi dividida em capítulos que seguem uma seqüência lógica das atividades de investigação que foram realizadas. Os capítulos estão escritos na forma de textos individuais e seguem a seguinte estrutura : o Capítulo 1 é relativo a apresentação do problema e dos objetivos gerais

do trabalho e, o Capítulo 2 faz uma descrição física geral das unidades paisagísticas (savanas) que foram utilizadas no estudo. O Capítulo 3 se reporta a determinação da área total e dos limites entre as paisagens e suas variações estruturais, associado ao Capítulo 4 que aborda a área total afetada pelo fogo anualmente e a freqüência de queima em cada tipo de savana. O Capítulo 5 estima a biomassa total (arbórea e rasteira) acima do solo nas fases pré e pós-queima, o fator de combustão desta biomassa, a concentração de carbono das frações dos componentes arbóreo e rasteiro e, o destino do carbono (estoque e liberação) devido a passagem do fogo. O Capítulo 6 trabalha com a mortalidade e o recrutamento do estrato arbóreo associado com a apresentação de um modelo de dinâmica do carbono que leva em consideração as taxas de incremento de massa (-/+) ao longo do tempo relacionadas às condições climáticas. O Capítulo 7 apresenta um quadro sobre as emissões de gases do efeito estufa ($CO_2$ e gases-traço) e material particulado para cada ambiente estudado e, exercita uma estimativa para toda a Amazônia considerando os resultados determinados nesta investigação. O Capítulo 8 é destinado às considerações finais do estudo e, o Capítulo 9, à listagem das literaturas utilizadas para apoiar o desenvolvimento desta pesquisa.

# Capítulo 2
# Descrição Geral das Savanas

## 2.1 Definição Geral

Embora seja reconhecido como o maior sistema terrestre do planeta, não há concordância unânime sobre uma definição fixa ou mesmo sobre a extensão das chamadas "savanas tropicais" (MENAUT *et al.*, 1991). Em nível global, semelhantes definições podem ser encontradas em BEARD (1953), COLE (1960), EITEN (1972; 1986), COUTINHO (1978; 1990), SARMIENTO (1984), LAMOTTE (1985), MORI (1989) e RATTER (1992). Entretanto, as divergências sempre se situam na extensão da área e nas diferentes formas deste tipo de paisagem. Por exemplo, se há inclusão ou exclusão das caatingas brasileiras e das savanas australianas (sub-tropicais), os resultados podem variar de 15,3 x $10^6$ $km^2$ (LANLY, 1982) a 28,0 x $10^6$ $km^2$ (OLSON *et al.*, 1983, citado em WORLD RESOURCES, 1990). Para o presente estudo, a definição adotada será aquela empregada pelo IPCC/OECD (1994a), ou seja, savanas ***"... são formações tropicais e sub-tropicais com cobertura graminóide contínua, ocasionalmente interrompida por árvores e arbustos e, que existem na África, América Latina, Ásia e Austrália"***, como exemplificado na FIGURA 2.

FIGURA 2 - Aspecto geral de uma savana amazônica localizada na região norte / nordeste do Estado de Roraima.

### 2.1.1 Sítio de Estudo

A área de estudo esta situada em um conglomerado de tipos savanóides localizado na região norte/nordeste do Estado de Roraima, extremo norte da Amazônia brasileira; aproximadamente entre 02° 30' N e 05° 00' N e, 59° 30' W e 61° 30' W (FIGURA 3). Esta paisagem faz parte do complexo "Rio Branco-Rupununi", que se estende entre o Brasil e a Guiana (EDEN, 1970; SARMIENTO & MONASTERIO, 1975). Regionalmente, as áreas abertas deste complexo vem sendo denominadas por "*lavrado*", um termo muito comum utilizado entre os habitantes de Roraima (VANZOLINI & CARVALHO, 1991).

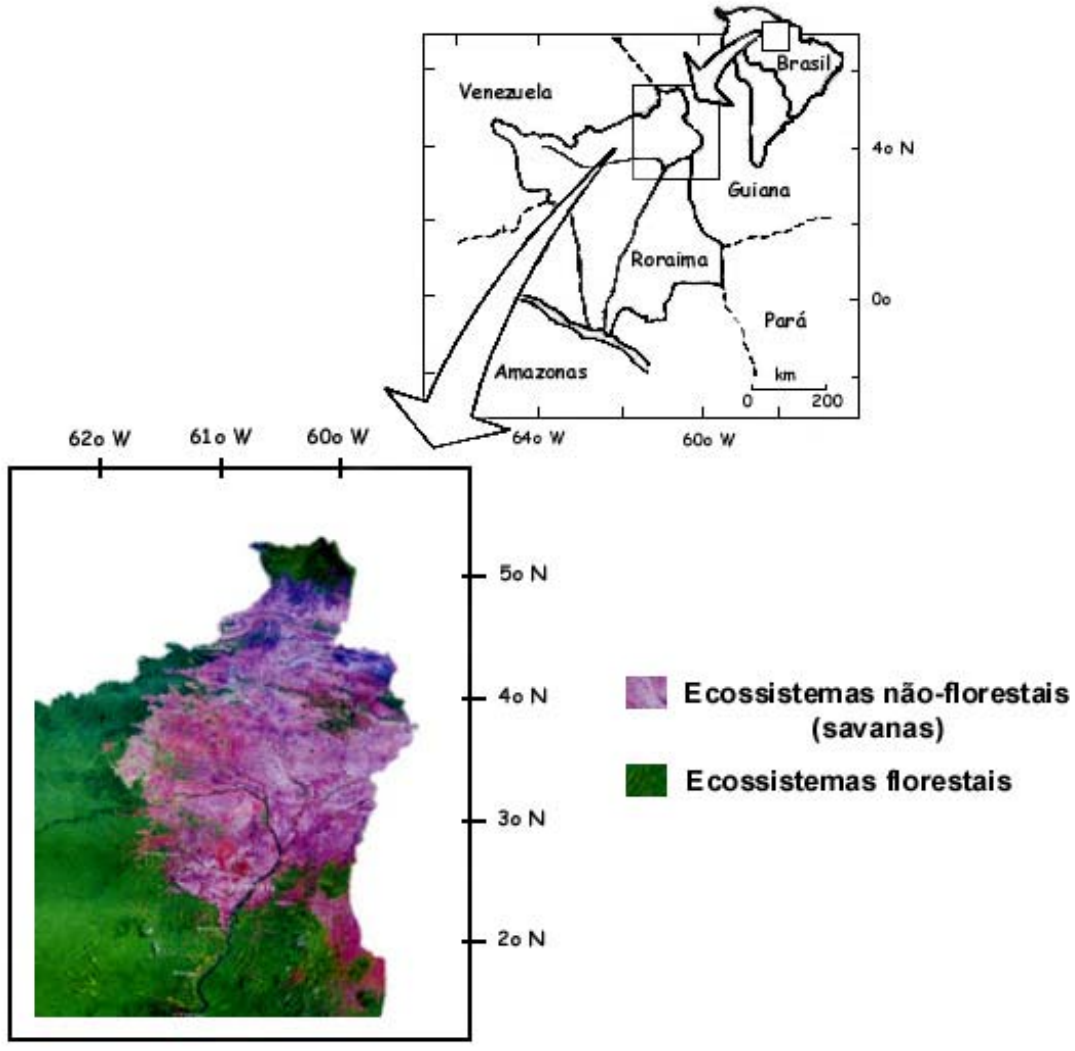



FIGURA 3 - Localização espacial da área de estudo (norte / nordeste do Estado de Roraima, Amazônia Brasileira).

Para o trabalho foram selecionados três eco-tipos, a saber: (1) Savana gramíneo-lenhosa (Sg), (2) Savana parque (Sp) e (3) Savana estépica-parque (Tp); todos distribuídos fisicamente segundo o Mapa de Vegetação da Amazônia (1:2.500.000) da SUDAM/IBGE (1989) e, definidas pelos critérios do Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE (1992). As três paisagens foram escolhidas porque representam as maiores extensões de savanas em Roraima que sofrem queimas regulares anuais.

### 2.1.2 Descrição Fisiográfica da Vegetação

De modo geral, as savanas aqui estudadas (Sg, Sp e Tp), são semelhantes na diversidade de espécies arbóreas e do estrato rasteiro. Por exemplo, nestas paisagens, as espécies arbóreas dominantes são o caimbé (*Curatella americana*; Dilleniaceae) e os mirixi (*Byrsonima crassifolia* e *B. coccolobifolia*; Malpighiaceae) (TAKEUCHI, 1960; RODRIGUES, 1971; DANTAS & RODRIGUES, 1982; SANAIOTTI, 1996; MIRANDA, 1998; obs. pessoal). As espécies rasteiras que prevalecem nestes ambientes são as Poaceae *Trachypogon* spp e *Andropogon* spp e, a Cyperaceae *Bulbostyles* spp (MYERS, 1936; RODRIGUES, 1957; CORADIN, 1978; MIRANDA & ABSY, 1997; MIRANDA & ABSY, 2000; obs. pessoal). Entretanto, as macro-paisagens se diferenciam ao longo de um relevo que parte do plano de baixa altitude até os montanhosos do extremo norte local (FIGURA 4). Esta distribuição altera o porte e o adensamento das espécies arbóreas presentes em cada um destes sistemas e, mesmo dentro de cada savana, permite divisões estruturais que marcam cada uma destas paisagens.

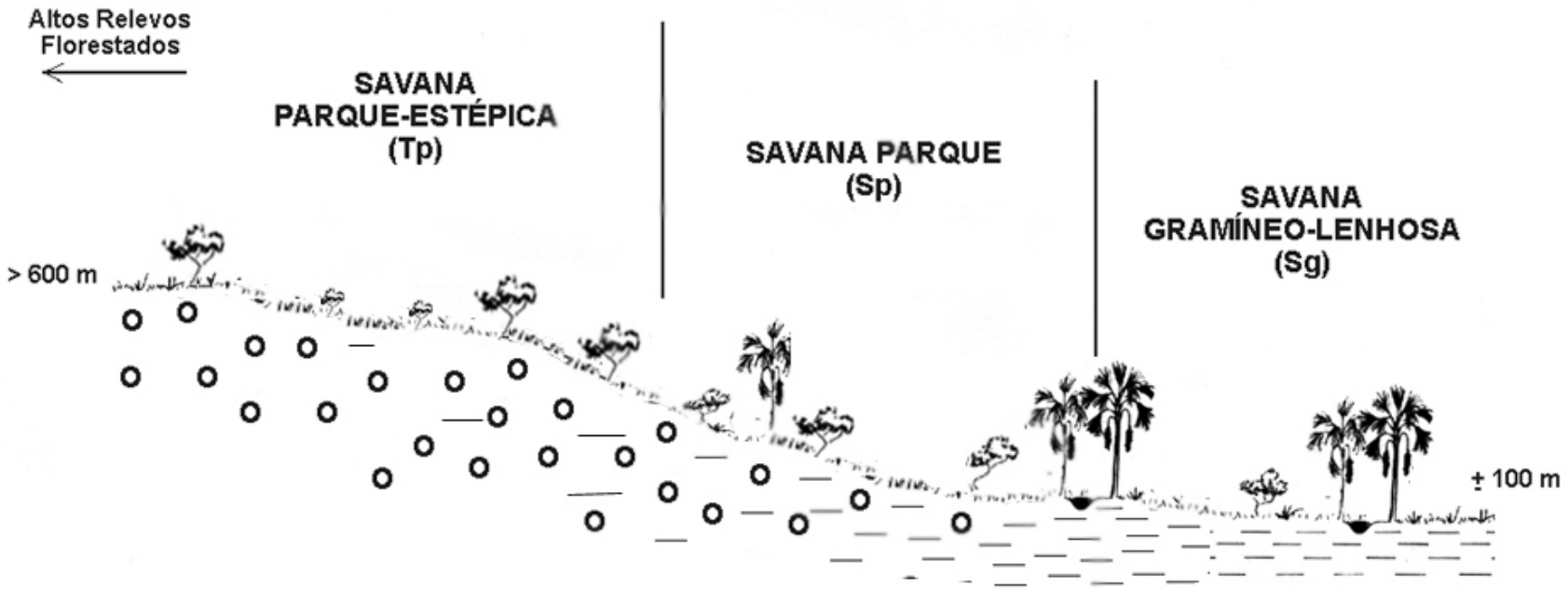



FIGURA 4 - Perfil fitofisionômico aproximado das eco-regiões de savana estudadas em Roraima (Sg ; Sp ; Tp).

(⎓) Solos provenientes de sedimentação
( O ) Solos litólicos

2.1.2.1 Sg (Savana gramíneo-lenhosa)

Esta paisagem se estabelece fortemente por todo o sistema geomorfológico denominado Formação Boa Vista (ver AB'SABER, 1997). Possui amplas pastagens naturais que formam um tapete de vegetação graminosa, incluindo diversas espécies de Cyperaceae e pequenas ervas, onde, esporadicamente, aparecem árvores anãs de formato tortuoso em meio a paisagem (principalmente *Byrsonima* spp). Esta área é caracterizada por apresentar um relevo de baixa altitude que permite o aparecimento de um elevado número de pequenos lagos nas partes mais baixas, abastecidos, em geral, por corredores naturais de captação de água das chuvas - são as "veredas", onde a presença da palmeira buriti (*Mauritia flexuosa*) é bem marcante (FIGURA 5).

FIGURA 5 - Aspecto geral das veredas de buritizais (*Mauritia flexuosa*) no sistema Sg (gramíneo-lenhoso).

Nos planos mais secos ou nas leves encostas dos relevos aplainados,

aparecem gradientes de formações arbóreas mais densas entremeadas com a paisagem dominante (campos gerais). Estes adensamentos também podem ser avistados quando da aproximação das matas de galeria de alguns cursos d'água desta região ou em continuação a pequenos aglomerados florestais (ilhas de mata) que vez por outra se fazem presente. Por comparação com a nomenclatura apresentada pelo volume 8 do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975), esta área representaria a Savana Graminosa (Sm). Em comparação ao cerrado do Brasil Central e, utilizando as definições de (COUTINHO, 1978), esta savana seria correspondente a uma variante do "campo limpo", entremeada por tipologias paisagísticas semelhantes a de "campo sujo".

#### 2.1.2.2 Sp (Savana parque)

Coincide com o somatório de parte da área geomorfológica da Formação Surumu (Alto e Médio Rio Surumu) com alguns trechos limítrofes da Formação Boa Vista em contato com áreas florestadas ao sudeste e oeste de Boa Vista, a capital de Roraima. Embora possua características de diversidade de "Sg", fisicamente esta paisagem se apresenta com aspectos mais densos de aglomeração e de maior porte das espécies arbóreas. Em algumas áreas ao norte da Formação Surumu, é possível identificar também grandes planadas apenas com o estrato graminoso. Seguindo a nomenclatura de BRASIL (1975), todo este conjunto seria representado pela Savana Parque (Sp) e pela Savana Parque do Alto e Médio Surumu (Sp). Em relação aos cerrados do Brasil Central, esta savana corresponderia a um mosaico de "campo cerrado",  "campo sujo" e “campo limpo”.

#### 2.1.2.3 Tp (Savana estépica-parque)

Este sistema é um bloco de savanas localizado próximo aos resíduos areníticos florestados do Grupo Roraima (extremo norte/nordeste do Estado), estabelecido em solos litólicos. O estrato graminoso se apresenta com baixa

densidade e, as espécies arbóreas são distribuídas sem nenhum sentido de aglomeração, embora existam pequenas elevações no relevo onde possa haver uma ou outra espécie dominante; em geral *Curatella americana* e/ou *Byrsonima* spp. É uma região árida onde, por vezes, é possível identificar cactáceas nos bordos de algumas elevações ou em pequenos adensamentos muito limitados pela presença de detritos litólicos. Segundo BRASIL (1975), esta região é denominada como Savana Estépica Parque (Cp). Pela definição encontrada em COUTINHO (1978), esta paisagem poderia lembrar um misto de "campo cerrado" e "cerrado" *sensu stricto*. Entretanto, sem comparações com o tipo de solo. Pelo relato de IBGE (1992), esta descrição corresponderia a classe das savanas estépicas. Contudo, não estaria enquadrada firmemente, por definição, no subgrupo "parque".

### 2.1.3 Clima

O clima da região nordeste de Roraima é o Awi pela Classificação de Köppen (LAMEIRA & COIMBRA, 1988), com pluviometria e número de dias com chuva por ano variando entre 1.100-1.700mm e < 100-130 dias, respectivamente (BARBOSA, 1997). Ambos os parâmetros, crescem em formas de onda do sentido nordeste para o sudoeste. Os meses mais secos estão concentrados entre dezembro e março (± 10% precipitação anual) e, o pico da estação chuvosa se estabelece entre maio e agosto (± 60% da precipitação anual).

A mais longa seqüência de medidas de pluviometria, temperatura e umidade relativa do ar (janeiro de 1910 a abril de 2000) foi feita em Boa Vista e, consta nos (1) dados publicados por GUERRA (1957), (2) nas planilhas originais do Serviço Regional de Proteção ao Vôo (SRPV de Boa Vista) e (3) nos relatórios do Instituto Nacional de Meteorologia / 1º Distrito de Meteorologia, sediado em Manaus (INMET). Os valores médios anuais determinados para este período foram de 1.631 ± 409 mm (n=76), 27,8 ± 0,6 $^{o}$C (n=40) e 73,8 ± 3,6 UR% (n=42), respectivamente, onde 'n' é o número de médias anuais válidas para o período indicado (FIGURA 6).

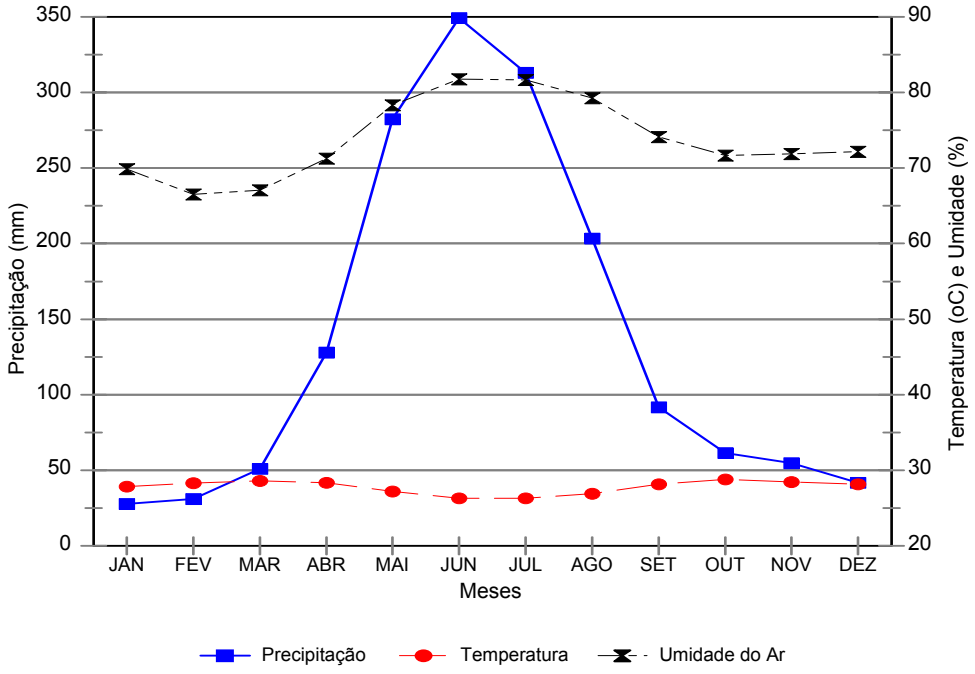



FIGURA 6 - Média da precipitação (mm ; n=76), temperatura do ar (ºC ; n=40) e umidade relativa do ar (% ; n =42) para a cidade de Boa Vista no período de janeiro de 1910 a abril de 2000.

### 2.1.4 Relevo, Solos e Hidrografia

O relevo cresce em altitude do sul para o sentido norte/nordeste, saindo de aproximadamente 80-100m na eco-região Sg (sedimentos da Formação Boa Vista), percorrendo as demais paisagens de savana (p. ex. a Formação Surumu) e se estabelecendo entre 250-900m na região da savana Tp, próxima aos relevos de alta altitude (> 1000 m) do Grupo Roraima (BRASIL, 1975). Este tipo de relevo influencia fortemente a estrutura física do solo que, por sua vez, modela a estrutura fitofisionômica da região estudada.

Os solos que dominam a paisagem são o latossolo amarelo, o latossolo vermelho-amarelo, o podzólico vermelho-amarelo e os litólicos. Os três primeiros, são produto de forte sedimentação ocorrida entre o Terceário e o Quaternário, devido ao processo erosional de antigos relevos Pré-Cambrianos do Grupo Roraima (BRASIL, 1975; CARNEIRO-FILHO & ZINK, 1994; SCHAEFER &

DALRYMPLE, 1995). Frações do embasamento e resíduos areníticos podem ser avistados em diversas partes das savanas formando, por vezes, conglomerados rochosos dentro dos sistemas.

As micro-bacias hidrográficas de toda esta área convergem para os rios Cotingo, Surumu, Mau, Uraricoera e Tacutu. Os dois últimos são formadores do rio Branco - principal vertente das águas fluviais de todo o Estado de Roraima (SANTOS *et al.*, 1985). Todos estes fluxos formam um intrincado sistema de águas claras, brancas (barrentas) e negras que se misturam e cortam todas as eco-regiões de vegetação aberta.

# Capítulo 3
# Área, Limites e Variações Estruturais das Savanas

## 3.1 Área das Savanas Estudadas

A área dos sistemas analisados é um fator de importância quando se trata de calcular as emissões de gases do efeito estufa. Isto porque variações de apenas poucos pontos percentuais entre os valores reais e os estimados pode provocar uma multiplicação de erros e distorcer os resultados. Algumas tentativas de diferenciar e ajustar os valores de área dos ecossistemas existentes na Amazônia vem sendo formuladas nos últimos anos. O primeiro a ter uma evolução concreta foi o Projeto RADAMBRASIL, iniciado na década de 1970, e que utilizou um sistema de radar para as análises paisagísticas. As demais tentativas que se seguiram para diferenciar os sistemas foram derivadas dele, destacando-se o Mapa de Vegetação do Brasil na escala de 1:5.000.000 (IBGE/IBDF, 1988; IBGE/IBAMA, 1993) e o Mapa de Vegetação da Amazônia na escala de 1:2.500.000 (SUDAM/IBGE, 1989). Ambos os casos deram origem a trabalhos regionais como, por exemplo, os de (1) FEARNSIDE & FERRAZ (1995), que quantificaram as fitopaisagens por unidade federada presente na Amazônia, levando em consideração a digitalização do Mapa de Vegetação do Brasil (1:5.000.000), (2) GRAÇA (1997 : p. 66) que trabalhou na escala de 1:2.500.000 (SUDAM/IBGE, 1989) para quantificar a área das savanas amazônicas e (3) INPE (1999 , 2000), que espacializou os macrosistemas regionais em 10 categorias (incluindo rios) para quantificar o desmatamento na região por classe paisagística.

Para Roraima, poucos são os estudos sobre a espacialização e definição de seus diferentes sistemas ecológicos. O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE/RR) vem tentando identificar e quantificar dentro da escala de 1:100.000 todos os sistemas locais comparando os resultados com os do Projeto RADAMBRASIL. O trabalho é de suma importância para uma distinção mais pormemorizada dos ambientes regionais mas vem sofrendo seguidos atrasos em

seu cronograma original. XAUD (1998a), desenvolvendo uma metodologia para analisar as relações entre a distribuição geográfica da vegetação e o ambiente físico em Roraima, exemplificou seu estudo utilizando o Sensoriamento Remoto e o SIG como ferramentas de apoio em uma área de mosaico savana-floresta, distinguindo-a proporcionalmente em diferentes paisagens locais. Os resultados deste trabalho são de importância porque ajudam a entender e exemplificam como funciona o dimensionamento das eco-paisagens em Roraima.

Para tentar suprir a falta de dados sob uma mesma base cartográfica local eu aproveitei as experiências anteriores e, utilizei como método para diferenciar e quantificar espacialmente as eco-regiões de savanas estudadas, uma modificação do trabalho de BARBOSA & FEARNSIDE (1999). Este estudo fazia parte dos passos iniciais da atual pesquisa e, foi aproveitado para estimar a área das fitofisionomias atingidas pelo grande incêndio do El Niño de 1997/98 em Roraima. O método está descrito abaixo.

### 3.1.1 Método de Medição

Este estudo utilizou como base uma digitalização do Estado de Roraima realizada sobre o Mapa de Vegetação da Amazônia da SUDAM/IBGE (1989) na escala de 1:2.500.000. Isto porque esta base usa a classificação tipológica padrão da vegetação brasileira descrita pelo IBGE (1992) e facilita outras comparações regionais. Para a diferenciação das savanas, foi necessário definir a distribuição macroespacial original de todas as fitofisionomias que fazem parte do cenário local (incluindo florestas, campinas e campinaranas). Para tanto, todo o conjunto foi escaneado e codificado por cores para facilitar a medida de área original.

Baseado em seguidas observações de campo e no Mosaico de Imagens de Satélite LANDSAT TM (1:1.000.000) (SENAGRO/ITERAIMA, 1996), eu ajustei limites e inclui/exclui algumas representações existentes no mapa original digitalizado. Isto porque existiam, por exemplo, campinas denominadas como

savanas ou limites de área de contato adentrando em florestas densas e vice-versa. Com auxílio do IDRISI (EASTMAN, 1995), um programa de computador que analisa dados de informação geográfica para classificação espacial (no caso, tons de cores), eu estimei o número de “pixels” de cada tipo de vegetação e, proporcionalizei a área de cada feição vegetal, considerando a área total de Roraima como 225.116,1 $km^2$. O resultado desta operação é apresentado na TABELA 3 e na FIGURA 7.

Embora com poucas alternativas de comparações, o resultado de 38.836 $km^2$ encontrado para as savanas do norte/nordeste de Roraima (35.495 $km^2$ para as áreas Sg, Sp e Tp e, o restante para sistemas de menor porte, já descontado a área dos grandes rios), esta dentro dos intervalos estimados por outros estudos na região. Por exemplo, a área total das savanas Rio Branco-Rupununi foi relatada por McGILL UNIVERSITY (1966) como de 54.000 $km^2$; sendo 41.000 $km^2$ localizados do lado brasileiro. FEARNSIDE & FERRAZ (1995), utilizando o Mapa de Vegetação do Brasil do IBGE/IBDF (1988), indicaram um total de 37.061 $km^2$ . As diferenças relativas para a área total não ultrapassam a poucos pontos percentuais (+5,3% e -4,8%, respectivamente). Entretanto, os valores absolutos podem provocar grandes distorções na computação geral dos resultados de emissão de gases porque são medidas que podem atingir a casa dos milhares de quilômetros quadrados. Além disto, os contrastes dos valores absolutos entre as eco-regiões, isoladamente, também é expressivo. Por exemplo, em FEARNSIDE & FERRAZ (1995), Tp foi determinado como 10.671 $km^2$, enquanto que no estudo em tela foi estabelecido em 8.764 $km^2$. As variações de escala das bases geográficas utilizadas nas estimativas, somadas com às incertezas dos corretos limites entre as paisagens provocam estas distorções.

TABELA 3 - Área original dos tipos fisionômicos (naturais e agroecossistemas) presentes em Roraima entre 1997/98.

| Categoria | Código | Grupo | Sub-grupo | Classe | Área Presente (km 2) |
|---|---|---|---|---|---|
| Floresta Densa | | | | | |
| | Da-0 | floresta ombrófila | floresta densa | aluvial | 2573 |
| | Db-0 | floresta ombrófila | floresta densa | terras baixas | 7960 |
| | Dm-0 | floresta ombrófila | floresta densa | montana | 21461 |
| | Ds-0 | floresta ombrófila | floresta densa | submontana | 72834 |
| | Sub-total Floresta Densa | | | | 104828 |
| Floresta Não-Densa | | | | | |
| | As-0 | floresta ombrófila | floresta aberta | submontana | 8198 |
| | Fs-0 | floresta sazonal | semidecídua | submontana | 1286 |
| | ON-0 | áreas de tensão ecológica e contato | | floresta ombrófila / floresta sazonal | 17233 |
| | SN-0 | áreas de tensão ecológica e contato | | savana / floresta sazonal | 1975 |
| | SO-0 | áreas de tensão ecológica e contato | | savana / floresta ombrófila | 4457 |
| | LO-0 | áreas de tensão ecológica e contato | | vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais / floresta ombrófila | 16677 |
| | Sub-total Floresta Não-densa | | | | 49826 |
| Não-florestal | | | | | |
| | Ld-0 | vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais | | arbórea densa | 12300 |
| | La-0 | vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais | | arbórea aberta | 134 |
| | Lg-0 | vegetação oligotrófica lenhosa de brejos e areais | | gramíneo-lenhosa | 11614 |
| | Sub-total Oligotróficas | | | | 24048 |
| | rm-0 | refúgio ecológico | alta altitude | montana | 206 |
| | Sa-0 | savana | cerrado | arbórea aberta | 814 |
| | Sg-0 | savana | cerrado | gramíneo-lenhosa | 15057 |
| | Sp-0 | savana | cerrado | parque | 11674 |
| | Td-3 (2) | savana estépica | Campos de Roraima | arbórea densa | 2321 |
| | Tp-3 | savana estépica | Campos de Roraima | parque | 8764 |
| | Sub-total Savanas | | | | 38836 |
| Antrópico (1) | Rural | pastagens | | | 2824 |
| | | capoeiras | | | 2020 |
| | | cultivos agrícolas | | | 712 |
| | | desmatamento/1998 | | | 220 |
| | Sub-total Rural | | | | 5776 |
| Cursos d'água (3) | | | | | 1803 |
| Área Total (km 2) | | | | | 225116 |

(1) Rural : considerado como troca do uso da terra apenas em áreas de floresta principalmente das tipologias Ds, ON, Fs, LO e As; Aqui deveria ser considerado um desconto para a área "Urbana" (sedes municipais distribuídas da seguinte forma: 5 para Ds; 4 para ON; 1 para LO; 1 para SN; 2 para Sg; 1 para Sp e 1 para Tp - aproximadamente 251 $k^2$). Entretanto, isto implicaria em duplicidade de descontos devido ao tipo de cálculo procedido neste estudo;
(2) Td representa, a título de cálculo, a soma de Td com Ta (S. estépica arborizada).
(3) Representa os principais rios de Roraima

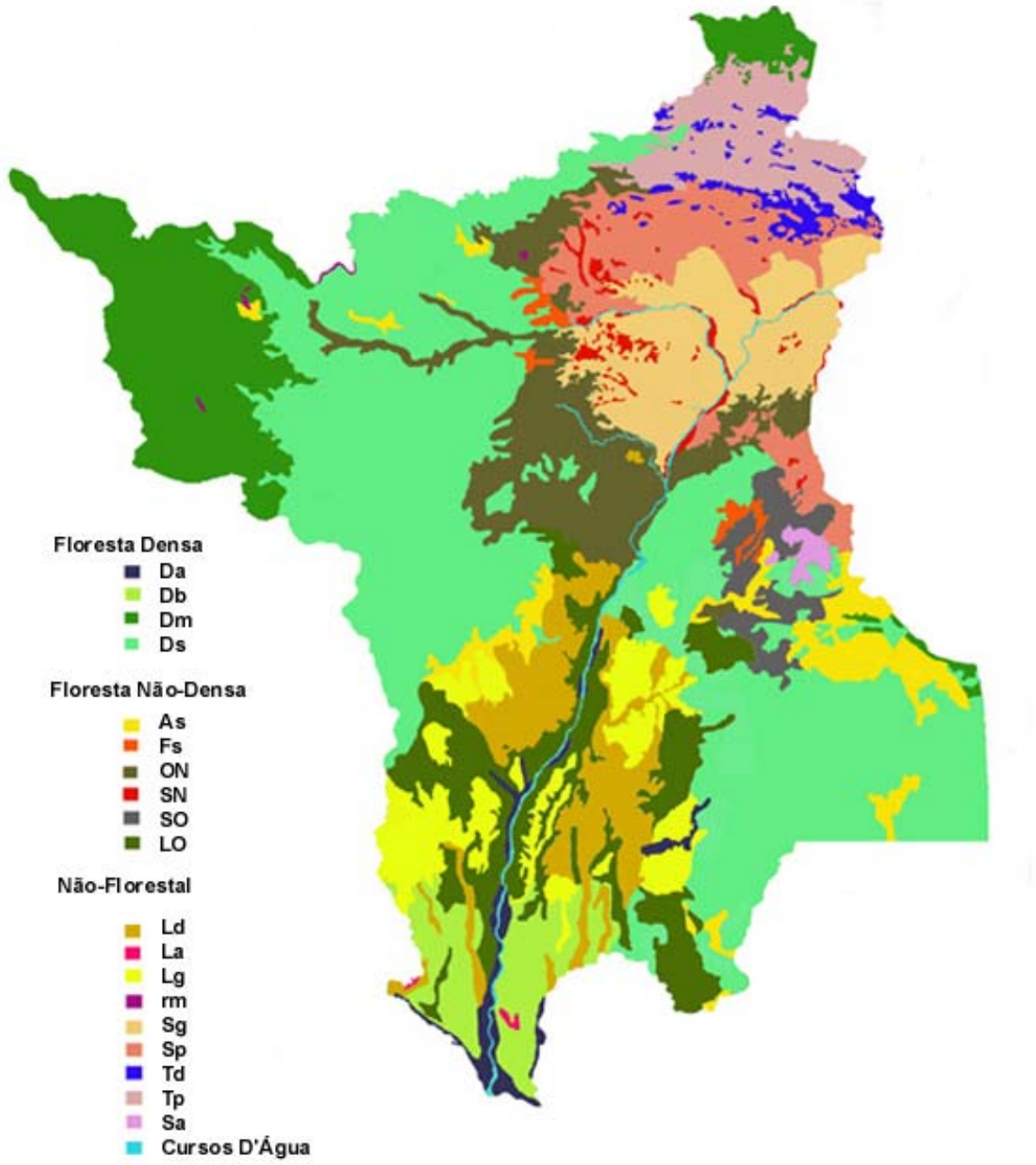



FIGURA 7 - Distribuição dos eco-tipos paisagísticos naturais do Estado de Roraima segundo SUDAM/IBGE (1989).

## 3.2 Determinação dos Limites das Paisagens e das Variações Estruturais

A determinação dos limites das paisagens esta conjugado com o objetivo de dividir cada uma das macro-paisagens em sub-sistemas estruturais segundo método descrito abaixo. Estas divisões foram uma tentativa de minimizar o erro de se quantificar a área total de uma paisagem como possuindo um único padrão paisagístico, o que, na realidade, não ocorre devido às variações de biomassa presente em cada sub-sistema. Além disto, foi uma forma de relacionar os cálculos de emissões de gases por queimadas, apenas para a extensão da área que não sofreu a troca do uso da terra, descartando os usos antropogênicos ou ambientes não definidos como padrão das paisagens estudadas (Sg, Sp e Tp) e que estão fora dos cálculos deste estudo.

### 3.2.1 Método Geral de Amostragem

Para estipular os limites das variações estruturais das unidades paisagísticas das savanas estudadas, eu marquei um transecto triangular de 540,1 km lineares que cortava todas as três eco-regiões envolvidas, iniciando **(1) próximo à cidade de Boa Vista no vale do rio Branco** (ponto 0 - 02º 47' 39" N ; 60º 39' 59" W), **(2) ultrapassando as regiões do vale do rio Tacutu** (ponto 1 - 03º 18' 40" N ; 59º 56' 50" W e ponto 2 - 03º 48' 04" N ; 59º 44' 14" W), **(3) da Terra Indígena Raposa/Serra do Sol e vale do rio Cotingo** (ponto 3 - 04º 10' 42" N ; 60º 31' 36" W e ponto 4 - 04º 24' 13" N ; 60º 20' 57" W) e, **(4) retornando pelo vale do rio Surumu** (ponto 5 - 04º 11' 38" N ; 60º 47' 31" W), **(5) Terra Indígena São Marcos** (ponto 6 - 04º 13' 51" N ; 61º 00' 56" W), **(6) vale do rio Uraricoera** (ponto 7 - 03º 27' 49" N ; 60º 54' 39" W) até alcançar novamente a **(7) cidade de Boa Vista pelo vale do rio Cauamé** (ponto 8 - 02º 52' 09" N ; 60º 41' 50" W) (FIGURA 8).

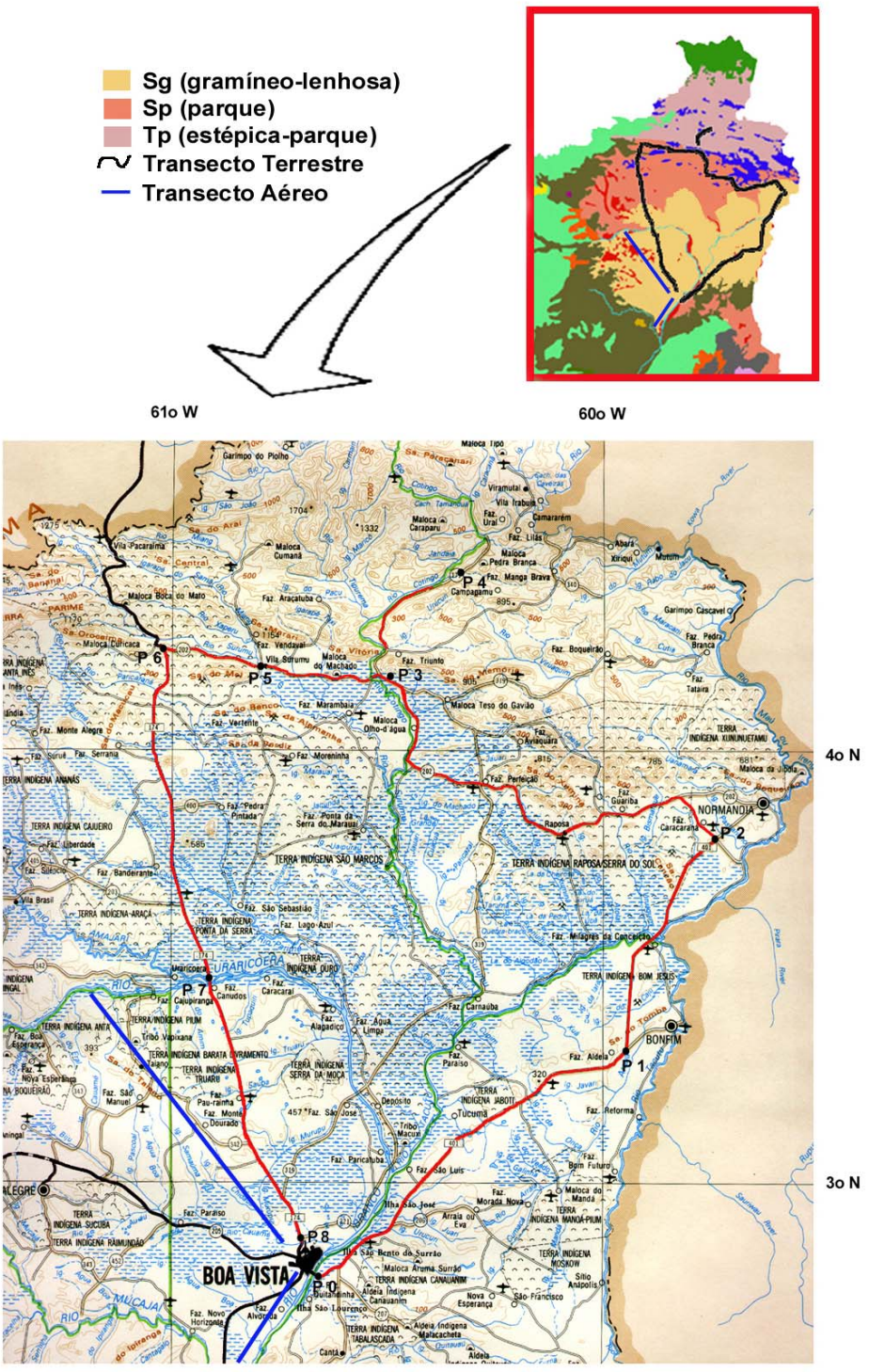



**FIGURA 8 - Trajeto do transecto percorrido para avaliação dos limites estruturais dos três eco-tipos de savanas (Sg ; Sp ; Tp) estudadas em Roraima (540,1 km).**

- Trajeto Terrestre
- Trajeto Aéreo
- P - Pontos amostrais
- Estradas

O transecto seguiu as estradas das regiões e estava dividido segundo os limites macro-fitofisionômicos estipulados pelo mapa de classificação vegetal produzido no Capítulo 2. Em campo, eu também me auxiliava pelo mapa fitoecológico do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975) na escala de 1:1.000.000 devido a melhor visualização das estradas. Com isto, foi possível amostrar (1) 257,8 km lineares em Sg, (2) 262,3 km em Sp e (3) 20 km em Tp.

Na primeira passagem pelo transecto (julho de 1997; estação chuvosa - sem queimadas) eu determinei (1) os limites entre cada eco-região e (2) as variações estruturais (sub-sistemas) que cada uma delas comportava pela quilometragem do veículo utilizado durante todo o trabalho. Os limites entre as eco-regiões foram baseados nos mapas supracitados que, por sua vez, eram definidos por rios ou serras, com poucos problemas de delimitação. As variações estruturais para os três sistemas estudados foram definidas como uma modificação (adaptação) da definição de cobertura arbórea introduzida por SARMIENTO (1984 : p. 40-42) para diferenciar e classificar savanas abertas ou fechadas. A metodologia de Sarmiento foi utilizada por MIRANDA (1998) e MIRANDA & ABSY (2000) para classificar as fitofisionomias de savanas de Roraima quanto às suas características estruturais e relacioná-las, em parte, com as definições do Brasil Central (campo limpo, campo sujo, campos cerrados e savana parque).

A classificação fisionômica adotada pelo IBGE (1992), utilizada neste estudo, fazia com que diferentes graus de cobertura arbórea estivessem presentes em todas as macro-fisionomias. Tentando preservar as macro-estruturas fisionômicas originais e, observando o tamanho linear do transecto, que impossibilitaria fazer a medição individual nas centenas de parcelas dos sub-sistemas existentes em cada eco-região, eu adotei uma classificação **“aparente”** que integrava a classificação por grau de cobertura adotada por Sarmiento, sem eliminar a classificação geral adotada pelo IBGE. Logo, eu defini como (1) "***ralo***" aquele sub-sistema de savana cortado pelo transecto e que possuia menos de 2% de cobertura arbórea “aparente” (dominância absoluta de gramíneas); (2) "***médio***" aquele com cobertura arbórea “aparente” entre 2-15% (indivíduos arbóreos visíveis,

porém, sem dominância na paisagem), (3) "***denso***" o sistema com cobertura arbórea “aparente” superior a 15% (principal componente da paisagem); (4) "***antrópico***" (cultivos agrícolas, cultivos silviculturais, cidades, vilas e pastagens artificiais; savanas "com" troca do uso da terra) e (5) "***outros ambientes***" são os rios, mata de galeria e ilhas de mata (não queimam ou possuem comportamento de queima diferente das paisagens definidas como savanas neste trabalho).

Com o total linear (em km) correspondente a cada sistema e suas respectivas divisões estruturais, foi possível transformar cada componente em valores percentuais presentes nos macrosistemas, levando em consideração que os 540,1 km lineares representariam a área total das três savanas estudadas (35.495 $km^2$). Feito isto, eu inverti os valores de porcentagem obtidos no processo anterior, para estimar a área correspondente de cada sub-sistema e, por sua vez, desagregá-la em paisagens de savana ***com*** e ***sem*** troca do uso da terra. Isto foi possível devido às observações de todas as queimadas terem sido registradas ao longo do transecto, por divisão estrututal.

Como complemento, neste estudo eu considerei que as estruturas de savana “sem” troca do uso da terra estariam representadas por todas as paisagens que estivessem mantendo a cobertura visual savanóide (tapete graminoso e/ou árvores esparsas). Isto foi necessário porque, historicamente, a troca do uso original da terra já vem sendo feita há muitos anos com a transformação das áreas de savanas locais em pastagens naturais para o gado bovino introduzido há pelo menos 215 anos. O pastoreio e o pisoteio de uma população bovina próxima dos 30.000 indivíduos nas áreas de savana local, por si só, deve provocar uma troca na quantidade e na composição das espécies rasteiras ou mesmo arbóreas de pequeno porte (ver SKARPE, 1991 para uma melhor discussão). As áreas “com” troca do uso da terra foram consideradas aquelas onde a interferência humana provocou uma forte alteração na paisagem, transformando-a em sistemas agrícolas ou similares antrópicos que alteraram a panorâmica de uma savana nativa.

### 3.2.2 Resultados e Discussão

A TABELA 4 apresenta os resultados, em área e porcentagem, das variações estruturais encontradas para cada eco-região. Em todos eles, a dominância foi do sub-sistema médio com 46,3% em todas as divisões estruturais ou, 51,2% sobre o total exclusivo dos ambientes sem a troca do uso da terra que entrarão nos cálculos das emissões (excluindo ambientes “antrópicos” e “outros sistemas”). Características estruturais marcantes foram percebidas pela troca de dominância entre ambientes sem troca do uso da terra e o gradiente de arborização densa e rala. A primeira (densa), crescendo no sentido sul-norte do relevo com Sg (18,6%), Sp (29,8%) e Tp (38,5%) e, a segunda (rala), o inverso, decrescendo no mesmo sentido; Sg (29,6%), Sp (19,7%) e Tp (7,8%).

Ambientes antropizados (com troca) e outras paisagens com estrutura e biomassa diferentes das savanas aqui estudadas, somaram 3.464 $km^2$ ou 9,6% da área total amostrada (36.179 $km^2$). O restante (32.930 $km^2$) foi considerado como savanas que anualmente possuem chances de serem impactadas pelo fogo mas, continuam mantendo suas principais características paisagísticas atuais. Este resultado é uma tentativa de refinamento e correção de área devido ao tamanho da escala com que esta investigação se dedica. SEILER & CRUTZEN (1980) indicaram que uma correção de 30% a menos para o total de carbono exposto às queimas nas savanas africanas (aproximadamente 25% em área) deveria ser aplicado aos cálculos de estoque de carbono. O valor determinado neste estudo é 2,6 vezes menor que o índice deduzido dos autores acima. Nos cerrados do Brasil Central, devido ao maior volume de áreas agrícolas, estes valores podem variar de 45-60% (NEPSTAD *et al.*, 1997; KLINK & MOREIRA, 2000). Para Roraima, a quantidade de áreas de savanas alteradas pelo homem podia ser considerada baixa até fins da década de 1990 (como descrito neste estudo). Entretanto, a tendência é que estes ambientes sejam rapidamente ocupados devido aos fortes incentivos que o Governo local (avalista financeiro) vem dando a plantadores de soja do centro-oeste brasileiro através do Programa GRÃONORTE, com

Tabela 4 - Divisão estrutural das savanas de Roraima por uso da terra (situação estimada como média para a década

| Macropaisagem | Parâmetros | Divisões Estruturais | | | | | Área das Savanas (km$^2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Denso | Médio | Ralo | Antrópico | Out. Ambientes (1) | Total | Sem Troca | Com Troca | Outros |
| Sg | Área (km$^2$) | 2524 | 7041 | 4021 | 444 | 1027 | 15057 | 13586 | 444 | 1027 |
| | Total Amostrado (%) | 16.8 | 46.8 | 26.7 | 3.0 | 6.8 | | | | |
| | Sem Troca do Uso (%) | 18.6 | 51.8 | 29.6 | | | | | | |
| Sp | Área (km$^2$) | 3143 | 5328 | 2082 | 336 | 784 | 11674 | 10553 | 336 | 784 |
| | Total Amostrado (%) | 26.9 | 45.6 | 17.8 | 2.9 | 6.7 | | | | |
| | Sem Troca do Uso (%) | 29.8 | 50.5 | 19.7 | | | | | | |
| Tp | Área (km$^2$) | 3144 | 4393 | 635 | 219 | 372 | 8764 | 8172 | 219 | 372 |
| | Total Amostrado (%) | 35.9 | 50.1 | 7.3 | 2.5 | 4.3 | | | | |
| | Sem Troca do Uso (%) | 38.5 | 53.8 | 7.8 | | | | | | |
| Total | Área (km$^2$) | 7953 | 16449 | 7695 | 1029 | 2369 | 35495 | 32312 | 1029 | 2369 |
| | Total Amostrado (%) | 22.4 | 46.3 | 21.7 | 2.9 | 6.7 | | | | |
| | Sem Troca do Uso (%) | 24.8 | 51.2 | 24.0 | | | | | | |

(1) "outros ambientes" (buritizais, ilhas de mata e pequenos rios) são contabilizados na paisagem SN (ver tabela anterior).

financiamento do Banco da Amazônia (BASA). Apenas no ano de 2000, os incentivos permitiram o plantio de cerca de 8.000 ha (4.000 ha de soja e 4.000 de milho) com uma previsão para 30.000 ha em 2001 até alcançar o total de 200.000 ha previstos pelo programa. Além da soja e do milho, entre 1999/2000 foram identificados mais de 1.600 ha de plantios silviculturais de *Acacia mangium*, com apoio de grupos suiços : o projeto geral assume 19.000 ha para os próximos anos. Logo, a tendência é que os valores aqui determinados como média para a década de 1990 tenham que ser alterados para os anos seguintes.

Independente do valor determinado para cada estudo, é importante que uma dedução seja feita para evitar dupla contagem nos cálculos de emissão por causa de outros ambientes que não os exclusivamente de savana (CRUTZEN & ANDREAE, 1990). A maioria dos estudos que quantificam a emissão de gases por savanas não promove este desconto, considerando toda a área analisada como um único bloco sem alterações antrópicas. Isto acarreta uma falha na computação final das emissões por savanas. Em adição, a identificação das paisagens não-savanóides dentro do contexto geral das emissões reduz sensivelmente o erro na quantificação do carbono exposto em savanas proposto por SEILER & CRUTZEN (1980). Portanto, os resultados aqui apresentados demonstram a importância da divisão realizada em função da quantificação da emissão dos gases do efeito estufa devido às diferenças estruturais de cada eco-região. Ambientes diferentes que são trabalhados separadamente quanto ao comportamento das queimadas, refletem a realidade da área queimada e da freqüência de queima de cada paisagem em função de suas divisões estruturais específicas.

# Capítulo 4
# Área Queimada Anualmente e
# Freqüência de Queima nas Savanas

A freqüência das queimadas e a área atingida anualmente pelo fogo são importantes fatores nos cálculos de liberação e armazenagem de carbono em regiões de savanas (IPCC/OECD, 1994c). Embora EITEN (1972), para cerrados do Brasil Central, e LACEY *et al.* (1982), para as savanas australianas, tenham sugerido um intervalo médio de 1 a 2 (1,5) anos entre queimadas em uma mesma área, não existe um consenso que atribua determinado valor para cada sistema de savana. Da mesma forma, a estimativa de 75% de área queimada anualmente, apresentado por MENAUT & CESAR (1982) e utilizada nos cálculos de HALL & ROSILLO-CALLE (1990) para as savanas africanas, não sugere números definitivos para todos os diferentes sistemas e localidades estudadas. Em geral, estes valores foram estimados a partir de observações empíricas e entraram nos cálculos das emissões com alto grau de incertezas.

## 4.1 Área Queimada e Freqüência de Queima

A determinação da área queimada em savanas esta relacionada diretamente com a freqüência de queima e vem sendo um problema nos modelos de emissão. Devido à quase inexistência de estudos que se reportem a este tema, a maioria dos cálculos de emissão em savanas vem estimando empiricamente a área queimada através da obtenção da biomassa exposta ao fogo. Isto é feito através da multiplicação do total da biomassa acima do solo (por unidade de área) pela área total da savana (incluso todos os sub-sistemas devido à macro-escala). O resultado multiplica-se pelo fator de combustão (% da biomassa eliminada pelo fogo) e, em seguida, pela pela freqüência de fogos em uma dada região (ver HAO *et al.*, 1990 e SCHOLES & ANDREAE, 2000). Com isto, é obtido o total da biomassa queimada

que, por sua vez, pode ser re-dividida pela biomassa acima do solo (por unidade de área) para obter-se a área total da savana atingida pela queimada. Entretanto, este método possui uma enorme quantidade de incertezas quanto aos valores utilizados por causa da utilização de dados presumidos representando sistemas continentais. Além disto, descaracteriza todo e qualquer eco-tipo de savana, considerando a todos como um único agrupamento.

Técnicas de sensoriamento remoto vem tentando suprir as deficiências anteriormente embutidas nos cálculos de área queimada. Entretanto, as dificuldades de interpretação através deste tipo de método também são grandes porque as queimadas em savanas apresentam cicatrizes de curto prazo (diferente de sistemas florestais) e, portanto, dificultam a medição através de sensoriamento remoto. KAUFMAN *et al.* (1992) e RIGGAN *et al.* (1993) reportam que o uso de satélites é uma importante ferramenta para monitorar fogos tropicais e relacioná-los com estimativas de emissão de partículas e gases-traço pela queima de biomassa de savanas e florestas. Apesar disto, apresenta algumas dificuldades devido as características individuais de cada um deles. Por exemplo, o LANDSAT-TM (**T**hematic **M**apper) e o SPOT (**S**ystems **P**robatoire d'**O**bservation de la **T**erre) com altas resoluções espaciais, 30m e 10m respectivamente, possuem baixa freqüência de repetição de passagem e, portanto, restrições para a obtenção de séries temporais longas e com qualidade suficiente para analisar grandes regiões de savanas (ver TUCKER, 1978; NELSON, 1994; CÂMARA & MEDEIROS, 1996 para descrição do instrumental). O satélite NOAA/AVHRR (**N**ational **O**ceanic and **A**tmospheric **A**dministration / sensor **A**dvanced **V**ery **H**igh **R**esolution **R**adiometer) possui uma alta freqüência de passagem mas sua resolução espacial é de 1,1 km ou, de 5 km no caso do GAC (**G**lobal **A**rea **C**overage). Como resultado, ele consegue ser usado para contar o número de focos de incêndio mas não consegue estimar o tamanho do fogo sem uma grande carga de erros (KAUFMAN *et al.*, 1990).

Mais recentemente, os métodos de amostragem utilizando o sensor AVHRR com verificação da precisão através de imagens TM e/ou SPOT, vem

avançando na determinação da área queimada de savanas em países da África Central e, são relatados em BARBOSA *et al.* (1998), BARBOSA *et al.* (1999a, 1999b) e PEREIRA *et al.* (1999).

Pensando nos problemas inerentes a estes parâmetros de cálculos, o objetivo desta etapa do trabalho foi o de estimar a área queimada e a freqüência de queima através de uma amostragem terrestre utilizando as vias rodoviárias primárias e secundárias que cortam as savanas de Roraima. A intenção foi a de observar a cada lado da estrada (esquerdo e direito), a extensão linear das queimadas por eco-região. Eu assumi que cada lado mantinha um comportamento diferenciado (independente) mesmo entendendo que existe a probabilidade do fogo se deslocar de um lado para o outro da estrada através de algum material vegetal em chamas levado pelo vento. Ou seja, o comportamento de ambos possuiria uma dependência, mesmo pequena, mas que não foi considerada neste trabalho.

A presunção acima assumida possibilitou a observação de dois transectos distintos utilizando uma mesma via e, envolvendo as três eco-regiões e suas respectivas variações estruturais. O intuito era dar peso as áreas que queimam em função da característica estrutural de cada um destes sub-sistemas (como descrito no item 3.2.2) e evitar presunções grosseiras. A passagem pelo transecto foi feita de carro a cada 60 dias na estação chuvosa e mensalmente na estação seca, durante 3 anos a contar de junho/julho de 1997 até abril/maio de 2000[(4)]. O método específico desta etapa de trabalho e os resultados estão descritos abaixo.

### 4.1.1 Metodologia de Amostragem

A área total queimada anualmente e a freqüência de queima por cada unidade paisagística foram representadas através do transecto de 540,1 km lineares (anteriormente marcado) e determinadas através das observações periódicas (mensais ou bimensais) ao longo do trajeto já descrito no item 3.2.1 e na FIGURA 8.

---

(4) O mês de maio de 2000 não foi amostrado porque nos anos anteriores, os valores para este mês foram sempre igual a zero devido ao início do período chuvoso. Logo, para este ano, ele foi contabilizado da mesma forma.

A cada passagem pelo transecto foi realizada uma correção dos valores originais de distância determinados em função da primeira amostragem de referência feita no período chuvoso (junho/julho-1997). Isto foi necessário para evitar distorções devido à calibragem diferente dos pneus do veículo em cada viagem e, por causa da expansão que o mesmo material sofria devido às diferentes temperaturas (ambiental e do material) ao longo de todo o período amostral. Um teste realizado antes da segunda amostragem demonstrou que estes dois fatores poderiam influenciar as medidas em até 2-3 km de diferença entre o ponto inicial e final do transecto, logo, aumentando o erro devido a sobreposições de áreas distintas. Para atenuar este fato, foram estabelecidos três pontos de verificação (1, 2 e 3) entre o inicial (0) e o final (8), que foram montados com o intuito de calibrar as medidas obtidas em cada viagem. As coordenadas geográficas destes pontos foram apresentadas no item 3.2.1.

De modo geral, seria possível inferir que a freqüência de fogos e a porcentagem de área queimada determinadas por este método poderiam possuir uma bagagem de erros grande devido à proximidade das estradas. Esta inferência poderia vir do argumento de que as estradas são o ponto de partida de projetos de desenvolvimento e, por isso, tenderiam a manipular áreas com maior ou menor densidade de vegetação. Isto poderia acarretar diferenciações, por exemplo, nas proporções de sub-sistemas “ralo”, “médio” e “denso” o que, por sua vez, distorceria a real situação se considerada toda a área de savanas de Roraima. Entretanto, eu assumi que qualquer posicionamento de estrada ou transecto aleatório tenderia a cortar e contabilizar fogos que, se não partiram da área de influencia das estradas, pelo menos pararam nelas. Eu considerei que, nesta alternativa de amostragem, o espalhamento do fogo nas savanas seria mais importante do que a presença humana, visto que ela é real em todo o espaço físico destes ambientes em Roraima tanto por populações indígenas como não-indígenas. Logo, eu estou assumindo que o erro da amostragem pode ser considerado alto mas, provavelmente tende a se situar muito próximo daqueles obtidos por outras modalidades de levantamentos aleatorizados.

Para obter uma média geral entre os três anos de observação (como recomendado pelo IPCC, 1997 : p. 4.75), eu decidi não me utilizar da média simples entre os três anos. Para tanto, eu implementei um sistema de peso levando em consideração a proporção entre os anos considerados como secos (1997/1998), úmidos (1998/1999) e normais (1999/2000)[5]. Com isto em mente, eu fiz um levantamento das medidas pluviométricas anuais entre 1966 e 1999 na Estação de Boa Vista para determinar quantos anos foram considerados com 1 (um) desvio padrão abaixo (seco), acima (úmido) ou dentro do intervalo de confiança (normal) da média geral para este período. Neste sentido, eu estimei que a distribuição destas características climáticas para o atual período se estabeleceria em 18,2% para anos considerados como secos, 21,2% de úmidos e 60,6% de normais. Estatisticamente, estes valores representam a "proporção de uma distribuição normal" de dados coletados sistematicamente (ver ZAR, 1974 : p. 73-76).

Eu preferi assumir que a formação final da média representaria (em peso) cada um dos anos amostrados em vez de me utilizar dos valores de distribuição do SOI (**S**outhern **O**scilation **I**ndex) que, em tese, deveria ser o recomendado. Este índice demonstra a variação da temperatura da superfície de águas marinhas e permite a visualização das anomalias climáticas (El Niño, La Niña) ao longo de um determinado período de tempo (ver NICHOLLS *et al.*, 1996). Para a Amazônia, a proporção média entre as anomalias de toda a região, considerando o período de 1960-98, foi estimada em 33% (13) para anos com El Niño (seco), 28% (11) para La Niña (úmido) e 39% (15) para anos considerados como normais (SOUZA *et al.*, 2000). Entretanto, o uso deste índice não representaria fielmente a seqüência de dados coletados em campo porque cada região sofre a ação destas anomalias de forma diferenciada. Em função da distribuição dos dados coletados em campo, a proporcionalização através dos desvios representa melhor a realidade entre anos secos, úmidos e normais para Roraima. A opção de realizar uma média ponderada entre os anos analisados foi

---

[5] Este biênio foi considerado como La Niña pelos meteorologistas devido aos fortes temporais caídos na região. Entretanto, eu estou assumindo-o como normal por causa dos longos períodos secos (até 17 dias sem chuva) que foram observados por toda a fase de estiagem (dezembro a março) e que provocaram extensas queimadas nas savanas locais (observação pessoal).

para tentar reduzir erros nos cálculos finais caso fosse adotado um único ano ou a média simples entre eles. Isto porque cada ano possui um comportamento diferente em relação às queimadas em função das condições climáticas a que ele esta sujeito.

Além dos passos anteriores, eu aproveitei dois sobrevôos realizados por helicóptero na época das grandes queimadas do biênio 1997/98 - El Niño (ver BARBOSA & FEARNSIDE, 1999) para tentar refinar os resultados obtidos para aquele período nas áreas não contempladas pelo transecto terrestre e que sofreram forte ação das queimadas naquele biênio (ver FIGURA 8). A aeronave pertencia ao Governo de Roraima e estava à disposição do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para colaborar na avaliação dos impactos do grande incêndio ocorrido naquele período.

Esta ação foi importante porque em sobrevôos de reconhecimento anteriores, eu havia detectado que o transecto terrestre não estava traduzindo, em números, a real situação de extensão das queimadas, por exemplo, nas áreas da margem esquerda da BR 174 (norte de Boa Vista). Esta área congregou várias linhas de fogo que formaram um grande bloco de incêndio compactado até as áreas de contato florestal no setor oeste de Roraima, muito influenciado pela falta de barreiras úmidas (estavam todas secas) e pela predominância do tipo de vegetação graminosa. Do ponto de vista do observador terrestre (fora da linha de fogo), uma parte menor havia sido queimada devido à baixa incidência de fogos partindo das propriedades da beira da estrada (receio do fogo atingir plantios permanentes) e pelo direcionamento do vento (NE-SO). Este fato não foi observado nas áreas de savana situadas nos setores leste e norte do Estado, onde o transecto terrestre indicava possuir boa representatividade do ocorrido devido à homogeneidade de circulação do fogo.

Devido à altura do vôo (± 100 m), as cicatrizes do fogo mantinham-se visíveis e, portanto, foi possível montar os dois transectos aéreos lineares nas rotas (1) Boa Vista -Mucajaí (Sg) - 45 km e (2) Boa Vista-Ilha de Maracá (Sg e Sp) - 80 km entre abril e maio de 1998. O primeiro transecto representou a área ao sul da

cidade de Boa Vista (não contemplada pelo transecto terrestre), onde estão situadas fazendas de médio e grande porte, seguindo um trajeto aéreo linear que ladeava a BR 174 e o rio Branco. No segundo caso (Boa Vista-Ilha de Maracá), o vôo cortou pequenos loteamentos agrícolas próximos da cidade de Boa Vista (Monte Cristo), algumas fazendas situadas no mesmo rumo e trechos de influência indígena.

O desmembramento das áreas amostradas pelo transecto aéreo foi feito assumindo que cada uma delas representaria, respectivamente, as micro-regiões (1) acima e (2) abaixo do rio Cauamé, um divisor de águas da margem direita do rio Branco que corre de oeste para leste e, que distingue estas duas micro-regiões. Isto implicou no isolamento, em área, de um total de 43,5% (Sg) e 33,7% (Sp) para que se pudesse proceder aos cálculos de ajuste no biênio 1997/98. Este ajuste serviu apenas para corrigir o total de área queimada naquele biênio devido à falta de oportunidades de sobrevôos nos anos seguintes.

Em velocidade (± 90 $km.h^{-1}$) e altura constante, dentro das possibilidades de estabilidade que a aeronave permitia, eu determinei o tempo pelo qual o vôo passava por áreas queimadas e não-queimadas entre dois pontos fixos dentro destes transectos. Como a maioria das áreas cortadas pelo transecto estava queimada, a contabilização foi facilitada porque bastava registrar o curto espaço de tempo (em segundos) em que o vôo cortava as áreas não-queimadas. A contabilização final representaria a porcentagem queimada e não-queimada nas regiões onde o transecto aéreo cobriu. Ambas as micro-regiões (desmenbradas) receberam os valores percentuais de área queimada e não-queimada total para aquele biênio e, depois, foram reincorporadas ao resultado do transecto terrestre através de ponderação. Embora necessitasse de uma maior base de dados (número de transectos) para se proceder a um ajuste mais seguro e refinado, este método mostrou ser o mais indicado daquele momento para evitar mais acúmulo de distorções do que aquelas previamente identificadas.

### 4.2.2 Resultados

#### 4.2.2.1 - Área Queimada

A área total média anual das três savanas, sem troca do uso da terra, atingida por queimadas nos três anos amostrados (jul/1997 a mai/2000) foi de 13.806 $km^2$ ou 43% da área amostrada (TABELA 5 ; ANEXO I). Houve uma forte variação do biênio 1997/98 (67%) em relação aos demais (1998/99 - 34% e 1999/00 - 38%) devido às diferentes condicionantes climáticas pelo qual cada ano esteve afeto. Por exemplo, entre setembro de 1997 e março de 1998 choveu apenas 30,6 mm na cidade de Boa Vista, quando o esperado pela série histórica seria de 352 mm (DEFARA/INMET, 1999). Com isto, a biomassa apresentava níveis de umidade próximos dos 5% fazendo o material combustível mais inflamável do que o normal e multiplicando cada pequeno fogo em grandes extensões de área queimada naquele biênio.

Individualmente, o sistema com maior área queimada anual foi Tp (58%), seguido de Sg (41%) e Sp (34%). Em todos os casos, além do fator climático, o que influenciou para estas diferenças foi uma associação de (1) fatores geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos traduzidos no tipo e quantidade de biomassa encontrada sobre o solo de cada ambiente e (2) o comportamento das populações humanas presentes em cada sistema. A eco-região Tp é caracterizada por possuir menor índice pluviométrico sob solos litólicos e/ou com grande concentração de material arenoso, logo, com baixa retenção de umidade. Isto faz com que a vegetação daquele sistema perca rapidamente água e, trabalhe sua fisiologia em baixa concentração de umidade. Isto torna a biomassa presente mais susceptível à passagem de queimadas visto que o sistema de manejo das pastagens naturais nesta região é fortemente caracterizada pelo uso do fogo.

TABELA 5 - Porcentagem (%) de área queimada nas savanas de Roraima entre 1997 e 2000, sem a troca do uso da terra, por ano, tipologia e divisão estrutural.

| Macropaisagem e Sub-sistemas | Biênio 97/98 (2) | Biênio 98/99 | Biênio 99/00 | Média Ponderada (3) |
|---|---|---|---|---|
| Sg | | | | |
| ralo | 78.4 | 28.0 | 40.9 | 45 |
| médio | 59.4 | 37.5 | 39.4 | 43 |
| denso | 45.0 | 21.4 | 27.0 | 29 |
| Sub-Total (1) | 62.3 | 31.7 | 37.5 | **41** |
| Sp | | | | |
| ralo | 53.5 | 24.4 | 29.0 | 32 |
| médio | 69.4 | 25.1 | 32.3 | 38 |
| denso | 69.1 | 16.4 | 21.7 | 29 |
| Sub-Total | 66.1 | 22.4 | 28.5 | **34** |
| Tp | | | | |
| ralo | 82.8 | 87.9 | 94.0 | 91 |
| médio | 77.3 | 51.9 | 53.4 | 57 |
| denso | 72.5 | 49.1 | 45.6 | 51 |
| Sub-Total | 75.9 | 53.6 | 53.6 | **58** |
| Total (4) | 67 | 34 | 38 | **43** |

(1) Em função da área total de cada sistema.
(2) Os dados originais eram: Sg (38,1%) e Sp ( 51,1%), e foram corrigidos por dois transectos aéreos entre as regiões de Boa Vista-Mucajaí e Boa Vista-Ilha de Maracá (ver ANEXO I).
(3) Em função dos índices porcentuais de anos secos (18,2%), úmidos (21,2%) e normais (60,6%) para o período de 1966 e 1999 na Estação de Boa Vista/Roraima (respectivamente para os biênios de 97/98, 98/99 e 99/00).
(4) Em função do somatório de todas as áreas queimadas de todos os sistemas e dentro de cada ano.

Sp e Sg, embora com maior proporção de sub-sistemas “ralos” (que facilita a multiplicação dos fogos) possui terrenos mais baixos que possibilitam maior acúmulo de umidade. Além disto, são cortadas por um maior número de estradas e de pequenos cursos d’água que acabam servindo de barreiras à passagem do fogo.

Agrupando os resultados de área queimada a cada dois meses, por ano amostrado, foi possível identificar a distribuição média das queimadas e os períodos de maior concentração dos fogos (TABELA 6 ; FIGURA 9). Do total

queimado anualmente (média ponderada), 90% se concentrou entre os meses de outubro e março (out/nov - 25,4% ; dez/jan - 36,9% ; fev/mar - 27,7%). O restante foi determinado entre os meses de agosto/setembro (8,3%) e abril/maio (1,7%), com junho/julho apresentando incidência de queimas nula. Esta distribuição reflete a característica climática local associada a cultura regional que encontra no fogo um procedimento para manejar as pastagens naturais para o gado, além de auxiliar na caça e afastar pragas presentes nos sistemas.

TABELA 6 - Área queimada média (ponderada e acumulada) bimensal entre jun/jul de 1997 e abr/mai de 2000, para as três savanas estudadas em Roraima.

| Bimestres | Biênios | | | Média | % área queimada bimensal |
|---|---|---|---|---|---|
| | 97/98 | 98/99 | 99/00 | | |
| jun/jul | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | - |
| ago/set | 13.5 | 1.4 | 1.3 | 3.5 | 8.3 |
| out/nov | 42.5 | 8.5 | 8.0 | 14.4 | 25.4 |
| dez/jan | 58.5 | 20.3 | 25.1 | 30.2 | 36.9 |
| fev/mar | 64.6 | 33.5 | 38.2 | 42.0 | 27.7 |
| abr/mai | 66.9 | 34.1 | 38.5 | 42.7 | 1.7 |

#### 4.2.2.2 Freqüência das Queimadas

Com o mesmo procedimento para determinação da área queimada, eu estimei a freqüência de queima por tipologia vegetal sobrepondo os resultados dos

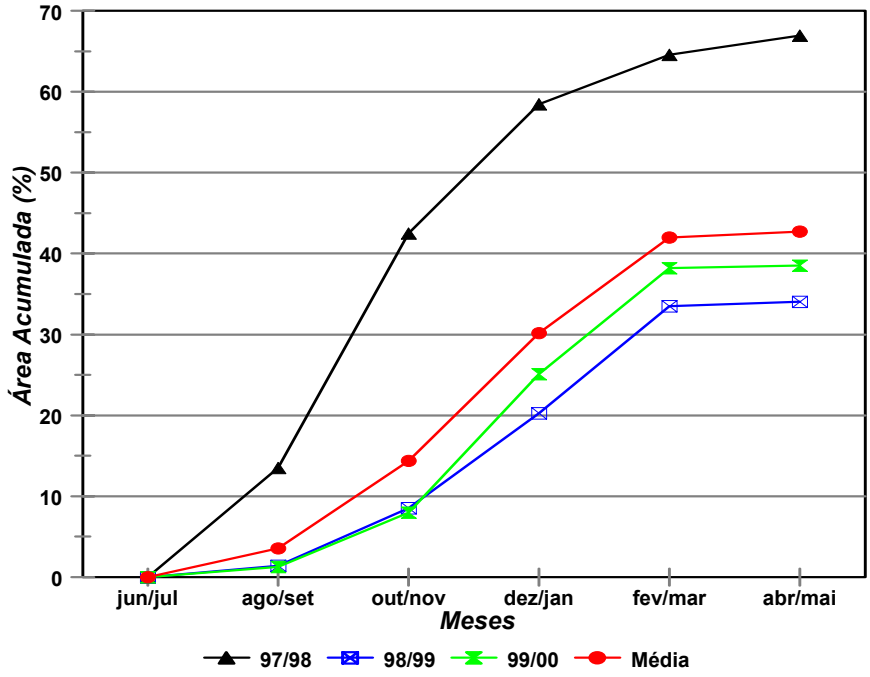



FIGURA 9 - Área queimada acumulada (%) para as savanas (Sg, Sp e Tp) de Roraima.

três anos observados (TABELA 7). Da área total queimada sem a troca do uso da terra no período amostrado (1997-2000), 49% queimou apenas uma vez. O restante foi distribuído entre as áreas que queimaram duas (37%), três (12%) e quatro (1%) vezes. Com isto, a estimativa média de recorrência para que o fogo atinja uma determinada área uma única vez a cada três anos foi de 2 anos. Para duas vezes foi de 2,7 anos, três vezes de 8,2 anos e quatro vezes seguidas foi de 80,5 anos. Utilizando o valor de 43% como média de área queimada anualmente para as três savanas, eu calculei que o tempo médio de recorrência de fogos nos sistemas locais é de 2,3 anos (27-28 meses) para qualquer período de tempo.

Os valores individuais para cada biênio analisado (intra-ano) indicaram que a maioria das queimadas atingiu apenas um local (97/98 - 99,6% ; 98/99 - 98,2% ; 99/00 - 97,9%) entre o início e o fim do período seco. Além disto, estes valores também estiveram associados às condições climáticas que, por sua

TABELA 7 - Freqüência de queima média nos sistemas de savanas Sg, Sp e Tp situados no extremo norte/nordeste de Roraima, entre jun/jul 1997 e abr/mai 2000.

| Biênio | Frequência de Queimadas (n) | Sistemas (% em área) | | | Total Geral (%) | Distribuição das Queimas (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sg | Sp | Tp | | |
| 97/98 | 0 | 37.7 | 33.9 | 24.1 | 33.1 | - |
| | 1 | 62.2 | 65.9 | 75.6 | 66.7 | 99.6 |
| | 2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.4 |
| 98/99 | 0 | 68.3 | 77.6 | 46.4 | 65.9 | - |
| | 1 | 31.3 | 22.0 | 51.9 | 33.3 | 98.2 |
| | 2 | 0.4 | 0.4 | 1.7 | 0.7 | 1.8 |
| 99/00 | 0 | 62.5 | 71.5 | 46.4 | 61.5 | - |
| | 1 | 37.0 | 28.0 | 51.5 | 37.6 | 97.9 |
| | 2 | 0.5 | 0.4 | 2.1 | 0.9 | 2.1 |
| Média Geral (1) | 0 | 59.2 | 66.0 | 42.4 | 57.3 | - |
| | 1 | 22.7 | 21.2 | 16.6 | 21.1 | 49 |
| | 2 | 14.5 | 10.1 | 27.3 | 15.9 | 37 |
| | 3 | 3.5 | 2.7 | 12.5 | 5.2 | 12 |
| | 4 | 0.1 | 0.1 | 1.2 | 0.5 | 1 |

(1) Frequência média ponderada para os 3 anos de observação.
(2) Distribuição das queimas é relativo ao número de vezes (em %) que uma area queimou em um ano individual ou ao longo do período observado. É usado apenas para as áreas que queimaram pelo menos uma vez.

vez, acabariam determinando se uma área atingida no início da seca poderia recuperar a biomassa até o final da estação para se habilitar a queimar novamente no mesmo período de estiagem. Por exemplo, no biênio 97/98, apenas 0,4% das queimadas ocorreram por uma segunda vez e, apenas em locais muito específicos como proximidades de lagos e leitos de rios que armazenaram alguma umidade ao longo dos primeiros meses de seca e/ou aproveitaram chuvas rápidas isoladas. O tempo mínimo observado de recorrência em um único ano foi de 4-5 meses para anos úmidos. Entretanto, a maioria re-queima entre 6-7 meses (p. ex.: primeira queima em setembro e segunda em março/abril).

Da mesma forma que os valores determinados para freqüência de queimas dentro do biênio amostral, a porcentagem de área efetivamente queimada entre biênios seguidos também foi influenciada pelas condições climáticas e pelo tipo de sistema observado (TABELA 8). Independente do total queimado, 84,1% das

áreas queimadas em um ano no sistema Sg não se repetem no próximo. Da mesma forma, 85,4% em Sp e 76,8% em Tp são áreas novas para a prática da queimada.

TABELA 8 - Freqüência de queimas entre biênios seqüenciais (97/98 - 98/99 e 98/99 - 99/00).

| Sistemas | Frequência Coincidente (1) | 97/98 para 98/99 (%) | 98/99 para 99/00 (%) | Média (%) |
|---|---|---|---|---|
| Sg | novas áreas | 85.7 | 82.4 | 84.1 |
| | 1/1 queima | 13.9 | 17.1 | 15.5 |
| | 1/2 queima | 0.4 | 0.5 | 0.4 |
| Sp | novas áreas | 85.6 | 85.0 | 85.4 |
| | 1/1 queima | 14.0 | 14.2 | 14.1 |
| | 1/2 queima | 0.4 | 0.7 | 0.6 |
| Tp | novas áreas | 75.2 | 78.8 | 76.8 |
| | 1/1 queima | 23.7 | 19.0 | 21.7 |
| | 1/2 queima | 1.1 | 2.1 | 1.5 |

(1) novas áreas = áreas que não queimaram no ano anterior e que queimaram no ano observado;
1/1 queima = uma queima em cada ano em uma mesma área;
1/2 queima = uma queima em um ano e duas queimas no outro ano em uma mesma área.

### 4.2.3 Discussão

A média de 43% (34-58%) de área total queimada anualmente determinada neste estudo para as savanas amazônicas situadas em Roraima, é similar aos 40% sugerido por SEILER & CRUTZEN (1980) levando em consideração o trabalho de DESCHLER (1974) para a área de savana da África entre 5$^{o}$ N e 12$^{o}$ N. Entretanto, são trinta e dois pontos inferiores aos 75% sugeridos por MENAUT & CESAR (1982) e utilizados por HAO *et al.* (1990) e HALL & ROSILLO-CALLE (1990) como média para as savanas africanas. Posteriormente este valor foi revisado para 50% em HAO & WARD (1993) e HAO & LIU (1994) e, utilizado por diferentes autores no início da década de 1990 para cálculo geral de emissão de gases pela

queima de biomassa em sistemas de savanas. Embora dados de LAVENUE (1982, 1984), citado por MENAUT *et al.* (1991), já viessem reportando estimativas mais conservadoras (25-49%) em estudos realizados com imagens LANDSAT na Zona Sudanesa da Costa do Marfim, o valor de 75% ainda foi utilizado em diversas citações devido a falta de um maior volume de trabalhos que traçasse um melhor perfil deste parâmetro de cálculo.

As primeiras tentativas de distribuir o erro por macropaisagens foram realizadas por DELMAS *et al.* (1991a) e MENAUT *et al.* (1991) em uma análise espacial da biomassa total queimada por eco-tipos de savanas existentes na África (10-70%). SCHOLES (1995) em uma avaliação das emissões dos gases do efeito estufa pelo sul do continente africano também distribuiu sua avaliação por eco-tipos savananóides, indo dos semi-desérticos (± 0,1%) aos sistemas úmidos (± 53%). Os recentes trabalhos de BARBOSA *et al.* (1999a), BARBOSA *et al.* (1999b) e PEREIRA *et al.* (1999), utilizando sensores AVHRR em savanas centro-africanas, resultaram em uma média anual variando de 19-36% (1981-91), de 3-70% (1985/87 e 1990/91) e 61% (1996), respectivamente, para diferentes zonas fitogeográficas de queima e anos investigados (Paulo Marinho BARBOSA e José Miguel PEREIRA, comunicação pessoal). Todos os valores representam cenários e pressupostos ainda pouco estudados e com uma grande carga de incertezas devido a escala e a resolução espacial utilizada. Entretanto, são as mais recentes tentativas de refinamento dos valores anteriormente utilizados para as savanas centro-africanos. Os valores determinados para as savanas do nordeste de Roraima (34-58%) se estabelecem em um nível intermediário dos autores acima citados.

Para o Brasil, não existem estudos de campo que determinem o total de área queimada em sistemas abertos. KAUFFMAN *et al.* (1994) se reportam a uma estimativa anual de 50% para os cerrados do Brasil Central mas não indicam a fonte de cálculo. O IPCC (1997: p. 4.25) também adota o valor de 50% como “default” em suas planilhas de cálculos de emissão para toda a América Tropical. Para a Amazônia, o INPE tentou estimar a área queimada de diferentes tipos de vegetação no grande incêndio de 1997/98 (El Niño) em Roraima através de uma

conjugação de esforços com os dados dos satélites LANDSAT-TM e DMSP (ver SHIMABUKURO *et al.*, 2000). Entretanto, a análise de todas as áreas de savana se mostrou insatisfatória devido a falta de imagens de qualidade em série que pudessem produzir dados confiáveis, associados à atividade de campo terrestre que permitisse comparações e ajustes. Os dados do INPE indicaram que cerca de 200 $km^2$ haviam queimado entre 1997-98 durante todo o evento de fogos (aproximadamente 0,5% de toda a área de savanas locais). Contudo, a estimativa de campo levantada por BARBOSA & FEARNSIDE (1999) indicou que mais de 22.500 $km^2$ (58,4%) de todas as savanas em Roraima (incluindo os sistemas de menor área) foram atingidos naquele biênio; 112 vezes superior ao valor do INPE. Esta distorção apresentada pelo valor do INPE é apenas a conseqüência da falta de estudos sistematizados nas savanas amazônicas e, a falta de valoração da importância destes ecossistemas no que concerne à emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera.

O resultado médio bimensal de porcentagem de área queimada ao longo dos anos esta diretamente relacionado à (1) presença humana, (2) heterogeneidade espacial com que a biomassa é distribuída e (3) como o fogo se comporta em função das condições climáticas presentes no ano da observação. LAMOTTE *et al.* (1985) citado por MENAUT *et al.* (1991), apontaram que fogos ao início da estação seca na Costa do Marfim (dezembro ou antes) consumiriam até 12% da biomassa total afetada naquelas savanas. No pico da estação seca, este valor seria elevado para 75% (janeiro) e cairia para 13% (fevereiro em diante) ao final da estação de queimas. Mesmo que de forma aleatória, a distribuição apresentada pelos autores pode ser relacionada com a proporção de área queimada mensalmente, da mesma forma como apresentado no estudo em tela, quando 90% da área queimada estava posicionada dentro dos meses de pico de seca. Logo, influenciando diretamente no total de massa afetada pelo fogo.

A freqüência média de queima ao longo dos três anos observados (2,3 anos) foi função do total de área queimada anualmente (43%). As áreas de maior recorrência estavam concentradas próximas das sedes de fazendas de gado bovino

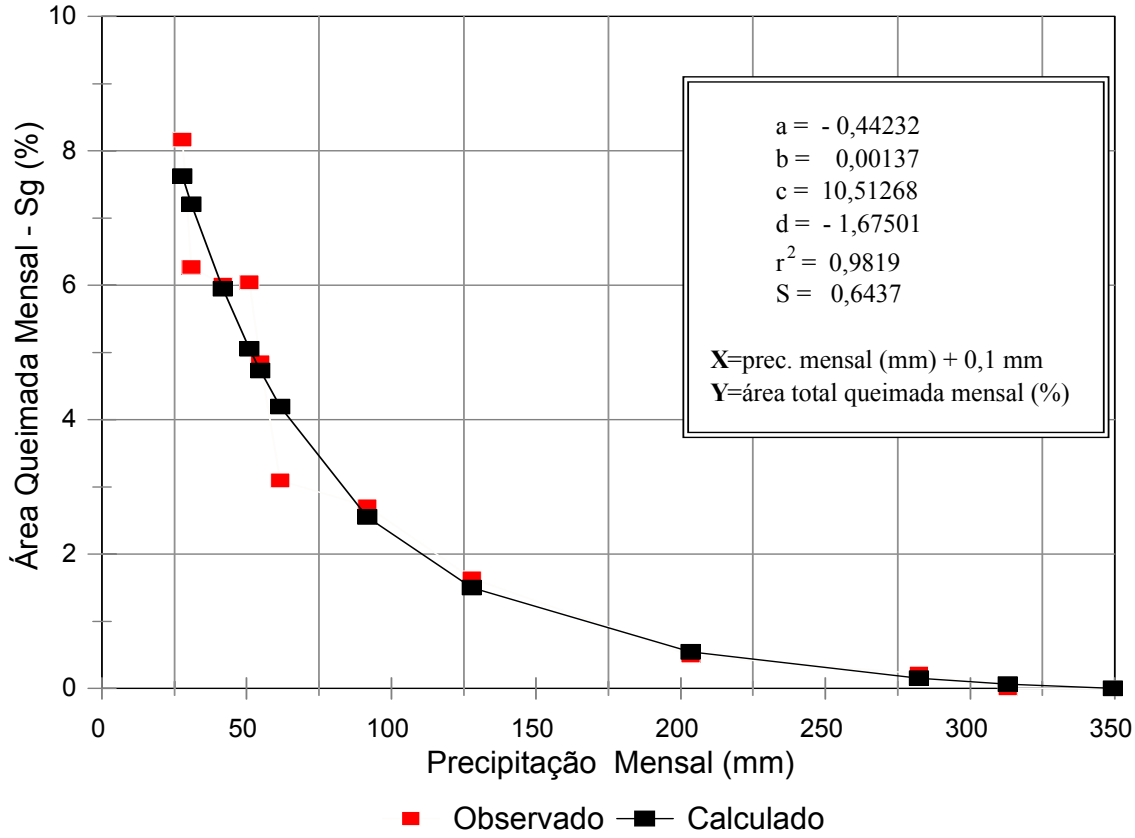
e de vilas indígenas que o transecto cortou. Houve uma forte ligação entre múltiplas queimadas e a presença humana nas localidades mais atingidas. Ou seja, os fogos que se propagaram a partir (ou próximo) dos aglomerados humanos possuiam uma recorrência maior nestas áreas. Entretanto, este resultado seria o normalmente esperado porque os fogos locais são tipicamente antropogênicos. As demais áreas amostradas no transecto (distantes da presença humana) e que apresentaram cicatrizes de queimas mensuráveis, foram reflexo de fogos surgidos a partir dos conglomerados humanos distantes da estrada mas, que se traduziram em uma resposta visual dentro do curso amostral. Levantamentos aéreos ou casualizados sem referência a acessibilidade de estradas fatalmente determinariam resultados semelhantes do ponto de vista da recorrência dos fogos próximos de vilas indígenas e fazendas pelo simples fato que é de lá que a maioria dos fogos surge. Por exemplo, dentro da área que envolvia o transecto existiam mais de 110 aldeias indígenas. Entretanto, apenas 10 foram cortadas pelo transecto (Jaboti, Guariba, Napoleão, Raposa, Xumina, Carangueijo, Olho D'Água, Contão, Machado e Sabiá) refletindo a situação de distribuição destes pequenos aglomerados humanos pelas savanas locais.

Em comparação com os autores anteriormente citados, que se utilizavam de valores entre 50-75% de área total atingida por queimadas para estudos africanos, o índice de freqüência tenderia a cair para um intervalo de 1-2 anos caso estes valores fossem mantidos. Para os cerrados brasileiros, COUTINHO (1990) e HOFFMANN (1998) fazem uma estimativa de 1-3 anos. Em ambos os casos, os resultados tendem a assumir valores mais realistas (para cima ou para baixo) com o refinamento de técnicas de sensoriamento remoto que possibilitem uma melhor avaliação da área queimada (ver BARBOSA *et al.*, 1999 e PEREIRA *et al.* 1999). Entretanto, mesmo estes estudos mais avançados dependem firmemente das atividades de campo para poderem calibrar seus métodos com maior segurança.

Um ponto de importância neste estudo é o registro de que a maioria das áreas queimadas em um ano não queimam no ano que se segue. Ou seja,

sempre há uma grande porcentagem de área nova envolvida por queima no período seguinte (75-85%). Da mesma forma que em Roraima, os estudos realizados por BARBOSA *et al.* (1999a) nas savanas centro-africanas, verificaram que apenas 9% das áreas queimam regularmente ao longo do tempo; o restante é de áreas novas. Este resultado implica em dizer que a dinâmica do fogo nestas áreas provoca situações diferentes na quantidade de biomassa e carbono expostas que queimarão ao longo do tempo em diferentes áreas. A massa presente não é padrão de um ano para o outro. A utilização de taxas de incremento de biomassa e carbono devem ser diferenciadas para cada uma destas áreas e, aplicada regras de entrada e saída de material do sistema em qualquer modelo que avalie o comportamento de emissões por queimas em savanas.

Os valores aqui apresentados apontam a importância da distribuição das medidas de área queimada por sistema (individual ou como uma média anual ponderada) devido aos diferentes comportamentos das condições climáticas de cada local de estudo. Por exemplo, levando em conta os resultados de pluviometria da cidade de Boa Vista, foi possível traçar uma relação entre a porcentagem de área queimada mensal medida ao longo dos 3 anos de amostragem na paisagem Sg (gramíneo-lenhosa) e a pluviometria mensal local (FIGURA 10). Embora os valores observados possam sugerir uma tendenciosidade devido ao acompanhamento das queimadas por estradas e, à falta de uma clara distinção do limite entre os sub-sistemas, este foi o meio mais aproximado de se estimar a área média anual queimada das savanas regionais sem se utilizar de técnicas custosas e, por vezes, com o mesmo grau de confiabilidade e precisão. Além disto, este método evita classificações empíricas baseadas no tipo vegetacional da savana que, por sua vez, multiplicam os erros de interpretação (ver SCHOLES *et al.*, 1996). Levando em consideração os sobrevôos e o resultado terrestre para o biênio 1997/98, a precisão dos valores aqui determinados são da ordem de 70% (aproximadamente o mesmo estimado por BARBOSA *et al.*, 1999 para as savanas centro-africanas).




$$\textbf{MODELO : } Y = \frac{a.b + c.X^d}{b + X^d}$$

FIGURA 10 - Relação entre precipitação mensal (mm) e área queimada mensal (%) para eco-tipo Sg (gramíneo-lenhoso).

## 4.3 Conclusões

(1) Em média, os três grandes blocos de savanas situados no norte / nordeste de Roraima (Sg ; Sp ; Tp) queimam conjuntamente 43% de sua área anualmente;

(2) O tempo médio de recorrência de queimas em uma área qualquer foi calculado em 2,3 anos para a região estudada;

(3) A maioria das áreas queimadas ao longo do ano, queimam uma única vez (¶98-99%);

(4) A maioria das áreas queimadas em um ano qualquer, não queima no ano seguinte, implicando que a maioria das áreas (75-85%) que queimam anualmente são “novas” e possuem material combustível diferente daqueles que queimam seguidamente.

# Capítulo 5
# Biomassa Acima do Solo, Fator de Combustão e Destino do Carbono (Estoque e Liberação)

Biomassa, fator de combustão e estoque/liberação de carbono das diferentes frações da vegetação são parâmetros de cálculo configurados em uma única base de interpretação porque são fortemente associados. Por definição, fator de combustão é a porcentagem de biomassa que é eliminada pelo fogo. Estes parâmetros ainda são considerados fatores chave na estimativa da emissão de partículas e gases do efeito estufa pela queima de biomassa (LIOUSSE *et al.*, 1997). Várias pesquisas vêm se detendo na determinação destes parâmetros para tipos de vegetação aberta em diversas partes do mundo. O maior número de estudos esta concentrado na África devido à grande presença de savanas por todo o continente (CRUTZEN & ANDREAE, 1990; SCHOLES, 1995).

No Brasil, entretanto, este tipo de abordagem vêm recebendo maiores atenções apenas recentemente pois os grupos de investigações investiam mais esforços nos aspectos descritivos destas paisagens abertas. Os destaques atuais são encontrados nos cerrados do centro-oeste brasileiro. A seqüência evolutiva seguiu pelas áreas de (1) ecologia geral, composição, estrutura e descrições dos diferentes eco-tipos (COUTINHO, 1976, 1978, 1982; CESAR, 1980; EITEN, 1982, 1986), se aprofundando mais nos (2) efeitos do fogo nos substratos arbóreo e rasteiro, para entender o ciclo de nutrientes ou os fatores que afetavam a manutenção das paisagens (BATMANIAN, 1983; OLIVEIRA-FILHO *et al.* ,1989; PIVELLO & COUTINHO, 1992) e, finalmente, (3) fluiram na ampliação da discussão dos impactos ecológicos e climáticos da emissão de gases pela queima da biomassa nestes sistemas abertos (WARD *et al.*, 1992; KAUFFMAN *et al.*, 1994; MIRANDA *et al.*, 1996a; MIRANDA *et al.*, 1996b; SILVA *et al.*, 1996; SATO & MIRANDA, 1996; ABDALA *et al.*, 1998; CASTRO & KAUFFMAN, 1998).

Especificamente para a Amazônia, os principais trabalhos sobre a

estrutura das savanas seguiram a tônica geral das definições ecológicas e da composição florística. Os trabalhos de maior destaque na região surgiram a partir dos anos 50 : LIMA (1958), EGLER (1960), TAKEUCHI (1960), RODRIGUES (1971), Projeto RADAMBRASIL (diversos), CORADIN (1978), DANTAS & RODRIGUES (1982), BASTOS (1984), GOTTSBERGER & MORAWETZ (1986), MIRANDA (1991), SANAIOTTI (1996), MILLIKEN & RATTER (1998) e MIRANDA (1998). A maioria tipicamente caracterizada pelo levantamento qualitativo da flora arbórea e/ou rasteira das savanas. Entretanto, nenhuma ênfase foi dada aos parâmetros de quantificação da biomassa, fator de combustão ou mesmo da concentração (%) e do estoque de carbono das frações presentes nos sistemas estudados.

Devido a falta de estudos que retratem resultados médios regionais para tais parâmetros, o IPCC vem sugerindo valores “default” para todas as savanas da América Tropical (ver IPCC, 1997 : p. 4.25). Entretanto, eles não condizem com as diferentes características regionais. O valor médio adotado, por exemplo, para biomassa acima do solo é de 6,6 t/ha para ambientes de savana que são trocados para uso agrícola. Este resultado foi extraído de HAO *et al.* (1990 : p. 451) que, por sua vez, se utilizou de uma média entre três investigações venezuelanas e uma brasileira (COUTINHO, 1982). Além disto, mesmo nos recentes trabalhos do centro-oeste, a biomassa arbórea acima do solo é desprezada ou subestimada através da exclusão dos indivíduos de maior diâmetro ou altura (p. ex.  2m), partindo do pressuposto que essa massa não sofre qualquer ação significativa do fogo. Embora a massa arbórea possa sofrer danos reduzidos em função de mecanismos de resistência à passagem do fogo, isto não implica em afirmar que sua participação nas emissões de gases deva ser descartada. É importante que o processo de combustão em savanas seja visualizado no todo e, para tanto, todos os compartimentos, inclusive biomassa arbórea, não devem sofrer nenhum tipo de descarte na estimativa final por unidade de área.

O fator de combustão, outra sugestão “default” do IPCC, é baseado em dados africanos embora já existam estudos mais recentes nas savanas

australianas (ver HURST *et al.*, 1994a ; 1994b) e no Brasil Central (ver WARD *et al.*, 1992; KAUFFMAN *et al.*, 1994; MIRANDA *et al.*, 1996; CASTRO & KAUFFMAN, 1998) que se reportam ao mesmo tema. Além disto, o número sugerido pelo IPCC (85-100%) leva em conta apenas a combustão da massa rasteira, excluindo a ponderação correta que deveria ser realizada levando em consideração a biomassa total acima do solo (rasteira + arbórea). Portanto, os dados utilizados para os cálculos de emissões regionais e globais (quando existentes) não representam o atual nível de conhecimento como média dos contextos regionais. Com isto, os cálculos podem representar uma multiplicação de erros devido às distorções de valores adotados nas planilhas de cada estudo.

Dentro desta avaliação e levando em consideração a falta de valores para a Amazônia brasileira que contribuam para traçar um melhor perfil dos parâmetros de cálculos de emissão, este capítulo tem por objetivo avaliar a biomassa acima do solo nas três savanas de Roraima (Sg, Sp e Tp) que são objeto deste trabalho. Além disto, este capítulo também se reporta a determinação de valores médios de estoque / liberação de carbono e fator de combustão nas diferentes frações de biomassa que sofrem a ação do fogo. Todos representam parâmetros de grande influência no conjunto de dados para os cálculos de emissão de gases do efeito estufa pela queima e decomposição de biomassa em savanas.

## 5.1 Metodologia

A metodologia utilizada para identificar e quantificar a biomassa e os demais parâmetros de cálculo foi baseada em inventários que agruparam as frações ou as espécies afins nas diferentes formas de paisagens e seus sub-sistemas nas savanas de Roraima. As atividades compreenderam procedimentos de análise direta (corte e peso) e indireta (via regressão), como demonstrado a seguir.

### 5.1.1 Medição da Biomassa Total Acima do Solo

Para efeito dos cálculos previstos neste estudo, ***biomassa total acima do solo*** é todo o tecido vegetal (vivo ou morto) presente na superfície do solo e que efetivamente sofre a ação do fogo. Independente das eco-regiões, a biomassa total de cada ambiente foi dividida em dois grandes grupos : (1) biomassa rasteira (graminosa e herbácea) e (2) biomassa arbórea (lenhosa). Em todas as paisagens eles foram medidos antes (pré) e depois (pós) da queima. Isto permitiu o estabelecimento de comparações de perda de massa entre as duas etapas de medição e a obtenção do "fator de combustão" (% da biomassa eliminada pelo fogo) fracionado e/ou total para cada eco-região. O método empregado por grupo de biomassa foi o seguinte :

5.1.1.1 Biomassa Rasteira (Método Direto)

Biomassa rasteira foi considerada como uma composição de elementos (1) vivos : graminóides (Poaceae e Cyperaceae), herbáceos (ervas lenhosas e não-lenhosas) e arvoretas (espécies arbóreas ou arbustivas com diâmetro de base inferior a 2 cm, tomado a 1 cm de altura do solo), (2) mortos: folhas caídas (ervas e árvores) e "litter" (material orgânico não-identificado) e (3) "cinzas e partículas": uma mixagem de material inerte (cinzas) e partículas de carbono[(6)] que são depositadas no solo logo após a queimada - apenas coletado na fase de pós-queima (FIGURA 11). Eu considerei a massa seca que ainda estava presa às frações graminóides e herbáceas como sendo parte dos elementos vivos. O restante do material que já havia se desprendido foi anexado ao "litter" como parte morta.

Para a amostragem de todos os componentes deste grupo eu usei uma quadra móvel metálica de 1 $m^2$ para delimitar o espaço amostral onde as frações da biomassa foram cortadas rente ao solo por facas ou pequenas tesouras

(6) Definição mais detalhada pode ser encontrada em KUHLBUSCH & CRUTZEN (1995) e ANDREAE *et al.* (1998). Para este estudo, eu defino "partículas" como o conjunto de todo o componente à base de carbono (TPM - material particulado total, POC - carbono orgânico particulado, EC - carbono elementar, carbono grafítico e BC - "black carbon") que se encontra presente nos restos coletados e que entra no sistema pós-queima como estoque de carbono de longo prazo. Uma parte deste material ainda é emitido para a atmosfera pelo vento e pelas chamas do fogo (KUHLBUSCH *et al.*,1996).

de poda (FIGURA 12). Em ambas as etapas de medição (pré e pós), foram realizadas 60 repetições em Sg nas regiões do Monte Cristo (n=30) e do Água Boa (n=30), 25 em Sp (15 na Aldeia do Contão, 5 na Aldeia Taba Lascada / Malacacheta e 5 no Posto da Placa) e 15 em Tp (10 na Fazenda São Luiz e 5 na Fazenda Eldorado) - cf ANEXO II para localização de todas as áreas amostrais para coleta de biomassa e data das queimadas prescritas. Eu distanciei as quadras sempre 20 m umas das outras, seguindo sempre o rumo norte como padrão e zigue-zagueando em 90$^{o}$ a cada 5 amostras realizadas, como demonstrado na FIGURA 13-A.

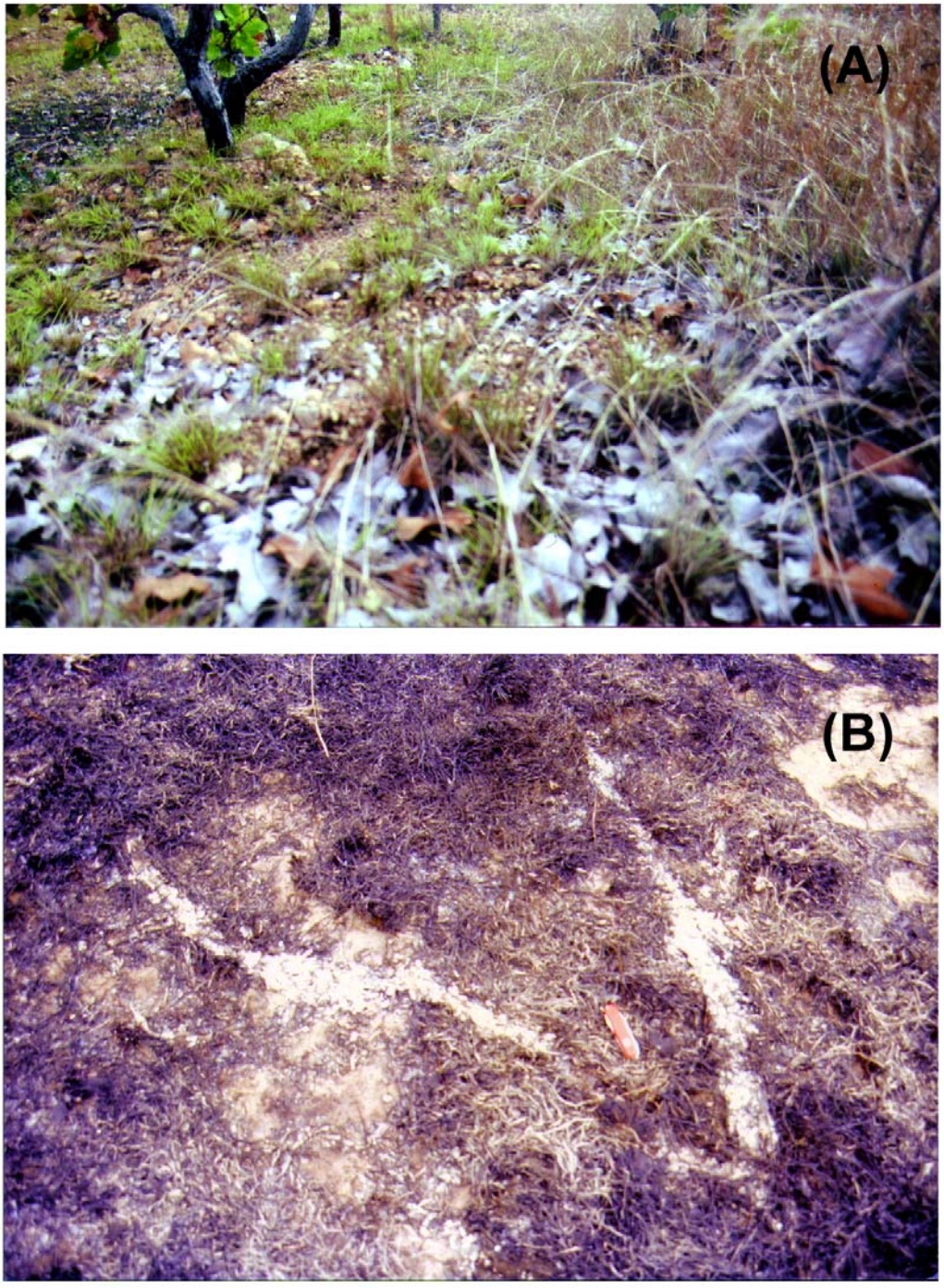



FIGURA 11 - (A) Biomassa rasteira (Poaceae, Cyperaceae, ervas e folhas mortas); (B) cinzas (marca branca em forma de "V") e material particulado (cor preta).

(A.1)

(A.2)

(B)

FIGURA 12 - Quadra móvel metálica para amostragem de biomassa rasteira pré-queima (A.1) antes e (A.2) depois do corte amostral e, (B) pós-queima.

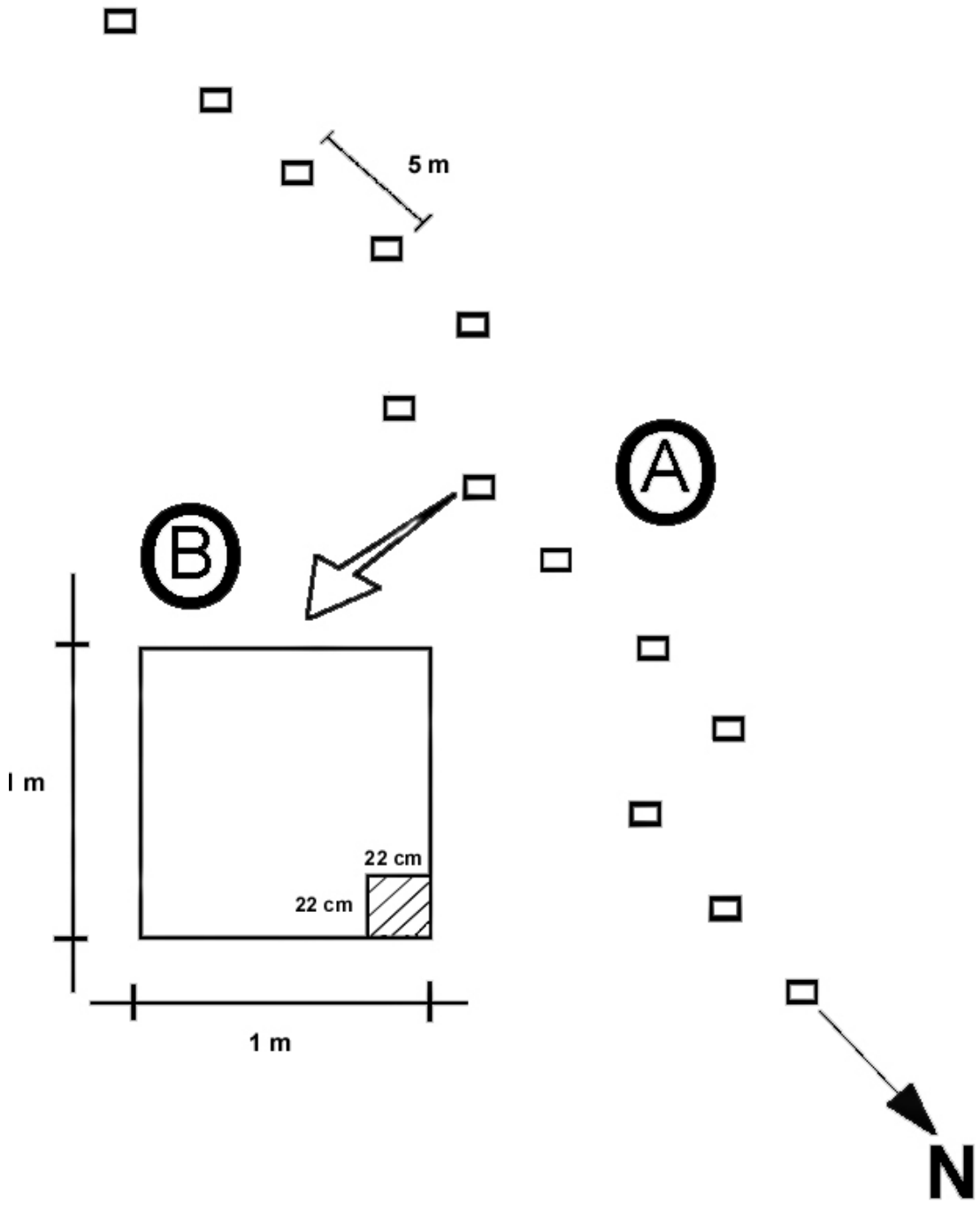



FIGURA 13 - (A) Alinhamento geral das quadras de amostragem para biomassa rasteira e (B) localização da sub-quadra para coleta de "litter", cinzas e material particulado do pós-queima.

Dos componentes coletados, apenas o "litter" e as “cinzas e partículas” da pós-queima (material orgânico + material particulado + cinzas) sofreram um tratamento diferenciado. Ambos foram coletados como se fossem uma única amostra conjugada em uma sub-quadra de 22 cm x 22 cm, sempre no vértice inferior direito da quadra de 1$m^2$ devido a dificuldade de coletá-los em uma área maior (cf FIGURA 13-B).

A coleta da pós-queima foi sempre feita imediatamente após a sedimentação da queima que, por sua vez, se dava no mesmo dia ou no seguinte à passagem do fogo. Isto foi necessário para evitar que o material particulado e as cinzas sofressem perdas significativas devido aos fortes e freqüentes ventos na época das queimadas em Roraima. No laboratório, eu tentei descontaminar as amostras de pequenas “perlotas” de solo qua haviam sido coletadas juntamente com esta fração na pós-queima (coleta manual e por pinça). Após este passo, eu separei cada amostra conjugada em duas partes possíveis e distinguíveis uma da outra : (1) o “litter” propriamente dito (material orgânico chamuscado e/ou não-queimado), que foi catado facilmente por meio de pinça e (2) um composto de “cinzas e material particulado” que era o resíduo da amostra conjugada. Este último comportava, em algumas amostras, minúsculas partículas de “carvão” provenientes do material herbáceo-lenhoso por vezes presentes nestas sub-amostras. Este tipo de material não foi encontrado no “litter” pré-queima provavelmente porque estava concentrado na camada logo abaixo da superfície do solo ou já havia sido lixiviado para cursos d’água próximos.

Eu adotei o procedimento de separação para tentar evitar distorções na análise da concentração do carbono (%) em cada fração amostral de biomassa e, para calcular o mais corretamente possível o fator de combustão e a eficiência de queima entre os valores de litter pré e pós-queima. Apesar do cuidado na coleta de campo e na limpeza do material, foi possível notar que algumas amostras da fração denominada como “cinzas e partículas”, ainda continham um resíduo fino de solo pelos quais eu não conseguiria fazer uma efetiva separação sem perder parte do conjunto analisado. Para tanto, eu considerei que esta contaminação residual

estaria afeta da mesma forma em outras análises e, por isso, não invalidaria os resultados ou a comparação com outros estudos.

Na continuação dos procedimentos, eu tomava o peso úmido total de cada amostra presente na quadra e, o peso úmido de uma sub-amostra que, em geral, variava de 1-100 g dependendo da quantidade e do tipo de fração coletada. As sub-amostras foram levadas ao laboratório para secagem em estufa a ±80$^{o}$C, até peso constante para a determinação da (%) umidade individual e, em seguida, do peso seco por unidade de área. Após este procedimento, o material foi duplamente moído sob peneira de “mesh 30" para análise da concentração de carbono pelo Método da “via seca” - determinador de carbono LECO CR-412 (ver CERRI *et al.*, 1990 para descrição do método). No total foram **568 amostras** envolvidas na determinação da concentração de carbono para a biomassa rasteira.

5.1.1.2 Biomassa Arbórea (Método Direto/Indireto)

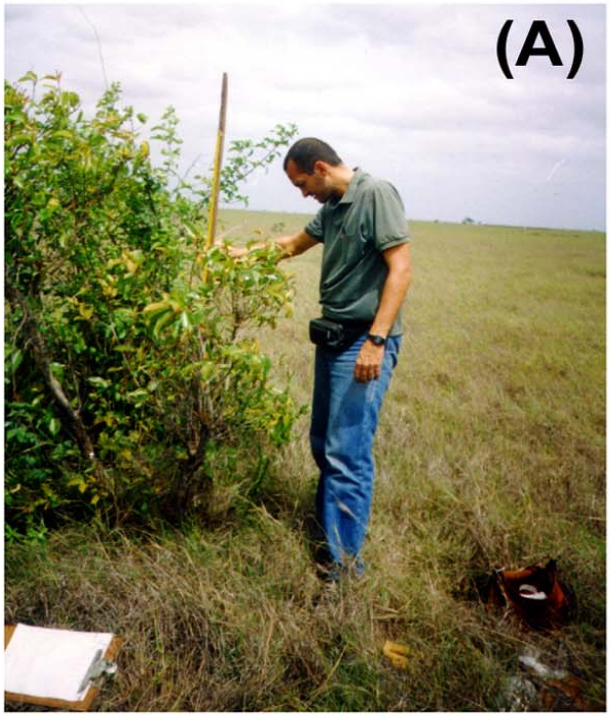
Biomassa arbórea foi definida como aquela composta por todas as espécies de árvores ou arbustos (vivas e mortas) com diâmetro de base maior ou igual a 2 cm (independente da altura). Para determinação do componente vivo, eu antecipadamente analisei por método direto, **130 indivíduos** distribuídos pelas três eco-regiões de estudo dentro das diferentes localidades apresentadas no ANEXO II. Isto foi necessário para se obter uma relação alométrica mixada entre os diferentes parâmetros analisados e a biomassa seca de cada indivíduo.

A escolha das árvores em campo foi aleatória, sempre iniciando uma trajetória linear (transecto) de coleta a partir de um ponto qualquer da paisagem em direção ao rumo norte. O tamanho da amostra (n=130) foi determinado por dois inventários preliminares que se ajustaram à “Seleção Estatística do Tamanho da Amostra” (BROWER & ZAR, 1984 : p. 10), presumindo um erro padrão da estimativa entre 20-30% para a amostragem. Além disto, eu aproveitei os inventários preliminares para dividir os 130 indivíduos segundo sua distribuição natural de (1) diâmetro de base e (2) grupos de espécies afins em cada eco-região

analisada.

Três grupos de espécies afins foram formados para facilitar as transformações e os cálculos da biomassa arbórea. Os grupos foram : (1) ***Caimbé*** : preenchido apenas por *Curatella americana* L. (Dilleniaceae), (2) ***Mirixi*** : formado pelas espécies *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth in H.B.K. (Malpighiaceae), *Byrsonima coccolobifolia* Kunth in H.B.K. (Malpighiaceae) e *Byrsonima schomburgkiana* Benth. (Malpighiaceae) e, (3) ***Outros*** : representado pelas demais espécies lenhosas que foram encontradas nos levantamentos, principalmente, *Himatanthus drasticus* (Mart.) Plum (Apocynaceae), *Bowdichia virgilioides* Kunth. (Fabaceae), *Genipa americana* L. var *caruta* (H.B.K.) Steyerm. (Rubiaceae), *Antonia ovata* Pohl. (Loganiaceae), *Palicourea rigida* Kunth (Rubiaceae), *Roupala montana* Aubl. (Proteaceae), *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae) e *Miconia rubiginosa* (Bonpl.) DC. (Melastomataceae). Eu também inclui neste grupo a espécie *Byrsonima verbascifolia* (L.) Rich ex A. Juss. (Malpighiaceae). Embora com o mesmo gênero das espécies contidas no grupo “Mirixi”, eu decidi inclui-la em “Outros” devido ao seu diferenciado tipo de estrutura (mirixi-anão) e distribuição nas paisagens. As demais espécies arbóreas deste último grupo foram consideradas de pouca importância no contexto da biomassa total (raras) sendo, portanto, contabilizadas nas amostragens mas não-listadas no texto acima.

Dentro do passo anterior, eu medi como variáveis independentes para os 130 indivíduos (1) o diâmetro de base (Db), (2) o diâmetro médio da copa (Dc, tomado na maior e na menor distância) e (3) a altura total (Ht) tomada da base do indivíduo ao topo da copa de cada árvore individualmente (FIGURA 14). Eu dividi e pesei (kg) cada árvore em quatro partes: (1) folhas (total presente), (2) gravetos (peças lenhosas com diâmetro (d) # 5 cm), (3) galhos (5 < d # 10 cm) e (4) troncos (d > 10 cm). Uma amostra em forma de disco (50-200g) foi tomada de cada fracionamento para que fosse possível ser estimado o peso seco, a concentração de carbono e a densidade básica ($g.cm^{-3}$ - massa seca / volume saturado) para cada indivíduo arbóreo considerado vivo. Com isto, foram analisadas **388 amostras** para determinação da %C em cada fracionamento arbóreo. Esta divisão também



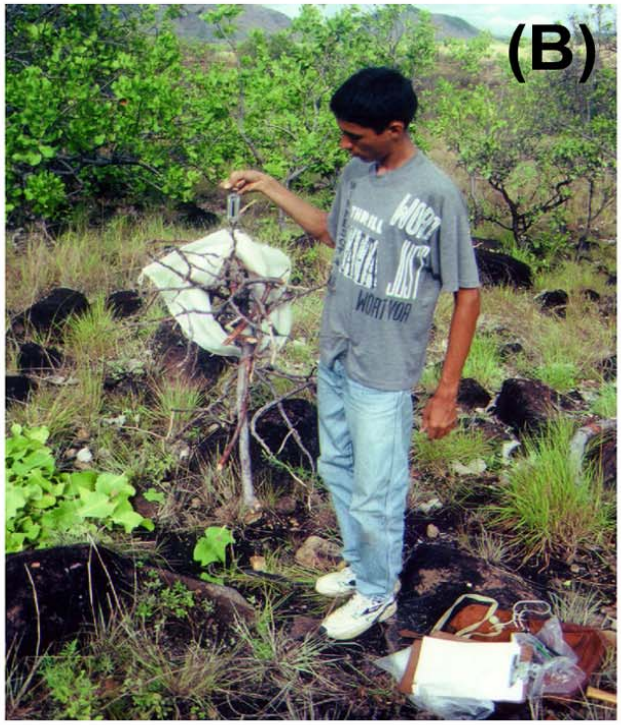




FIGURA 14 - (A) Medida das variáveis independentes e (B) pesagem do fracionamento da biomassa arbórea para aplicabilidade do modelo de regressão de determinação da biomassa seca.

serviu para dar suporte as etapas seguintes que tratam da decomposição do material lenhoso (necromassa) presente nas savanas e que será alvo dos próximos capítulos.

Terminado este processo, eu pude montar uma série de modelos de regressão para determinar a biomassa individual seca (Bs - variável dependente). Com o modelo matemático para estimar a massa individual de cada árvore viva, eu distribui 378 quadras (4 m x 20 m cada uma) entre as três eco-regiões de savana (Sg, Sp e Tp) para determinar a contribuição da massa arbórea no total de biomassa acima do solo antes e depois da queima. Para tanto, eu coletei as mesmas variáveis descritas acima (Db, Dc e Ht) para todos os indivíduos arbóreos ou arbustivos vivos presentes em cada quadra com Db $2 cm.

O procedimento anterior totalizou uma área amostral de 3,024 ha ou 1,08 ha para cada eco-região (126 quadras por paisagem). Em cada paisagem, as quadras foram montadas pelo mesmo padrão de amostragem (zigue-zague) descrito para a biomassa rasteira. Além disto, o número de quadras foi distribuído igualitariamente em três partes (3 x 42) dentro de cada paisagem segundo os critérios anteriormente adotados para ambientes com densidade de biomassa arbórea aparente “ralo”, “médio” e “denso” (ver item 3.2.1 para definições). Isto foi necessário porque nenhum destes ecossistemas possui uma fisionomia uniforme quanto à distribuição arbórea, o que poderia afetar o resultado final caso não fosse estabelecido uma média ponderada entre os três elementos (da mesma forma como procedido para a determinação da porcentagem de área queimada total).

A idéia de distribuir várias pequenas quadras pelos diferentes ambientes foi para tentar avaliar com maior acuracidade a variabilidade natural arbórea destes sistemas. Com isto, eu tentei evitar erros de contabilização de massa ou indivíduos por unidade de área que, em geral, são tomados em avaliações realizadas com base em quadras maiores que resumem todo o levantamento em apenas um ou dois pontos do ambiente.

Para a quantificação dos indivíduos “mortos” eu utilizei duas metodologias aproveitando as mesmas quadras montadas por eco-região : (1) para

indivíduos “em pé” - mesmo método dos vivos, descontando o percentual de folhas não presentes, retratado anteriormente por classe diamétrica e grupo de espécie e, (2) para indivíduos “tombados” (peças caídas) - coleta do comprimento e do diâmetro médio da peça para cálculo do volume e, posteriormente, da massa (em kg).

#### 5.1.1.3 Fator de Combustão da Biomassa Arbórea

A determinação do fator de combustão das árvores (folhas, madeira viva e madeira morta) seguiu um caminho diferente das frações rasteiras devido as características singulares que tais indivíduos possuem e pela dificuldade de tal medição em campo. Logo, para determinar a fração que era eliminada pela passagem do fogo, eu analisei **127 indivíduos** (33 do grupo “Caimbé”, 71 do “Mirixi” e 23 do “Outros”) distribuídos pelas paisagens Sg e Sp (Tp foi estimada a partir destas duas) e pelas três classes de diâmetro de base já citadas. Os indivíduos estavam situados em quatro transectos lineares de 200 m de sentido N - S : (1) BR 174 (sentido Boa Vista - Manaus), próximo ao Igarapé Água Boa e a Faz. Pau Rainha, (2) km 25 da RR 205, (Boa Vista-Alto Alegre), (3) BR 174 (sentido Boa Vista-Vila Pacaraima), próximo da Faz. Santa Fé / Estrada do Passarão e, (4) RR 207, próximo à Aldeia Taba Lascada (cf ANEXO II).

O primeiro passo do trabalho foi estimar a porcentagem (%) de folhas que (1) permaneceram verdes, (2) morreram, secaram e iriam cair e (3) queimaram (eliminadas) nas quatro áreas para cada indivíduo. A análise foi feita sempre no pós-fogo de 3-5 dias para evitar distorções quanto à presença de folhas verdes e aquelas que secariam em seguida. Com isto, eu estimei o fator de combustão médio das folhas por eco-região e grupo de espécie. Em seguida eu determinei a porcentagem de queima da massa lenhosa viva através da observação das gemas laterais das árvores grandes e do corpo das pequenas árvores e arbustos com Db $2 cm. Para estimar a perda da biomassa lenhosa “morta” (“tombada” e “em pé”) por queimadas regulares, eu utilizei os experimentos de mortalidade (fevereiro de

1995 a agosto de 1998) e decomposição (dezembro de 1994 a maio de 1999) descritos nos próximos capítulos.

Após cumprir as etapas anteriores, todos os indivíduos foram tabelados por eco-região e transformados em biomassa (viva e morta) acima do solo pelo modelo de regressão. Os valores foram postados por biomassa pré e pós-queima (fracionada e total) e transformados em massa de carbono (via % C) com seus respectivos fatores de combustão. Isto foi feito para cada (1) unidade de área de cada elemento vegetacional (ralo, médio e denso), (2) por cada eco-região e grupo de espécie e (3) ponderado para todas as três áreas de savana estudadas em Roraima (Sg, Sp e Tp).

## 5.2 Resultados

### 5.2.1 Biomassa Rasteira

A biomassa rasteira média acima do solo (pré-queima), considerando a soma das frações viva e morta contidas em cada sistema foi de 2.918 $kg.ha^{-1}$ (Sg), 4.140 $kg.ha^{-1}$ (Sp) e 2.994 $kg.ha^{-1}$ (Tp) (TABELA 9). A biomassa viva foi maior em todos os ambientes na fase pré-queima enquanto que a biomassa morta se destacou na fase pós-queima. Os valores percentuais foram, respectivamente para pré e pós-queima (viva e morta), de 87,5% e 76,2% (Sg), 87,5% e 79,7% (Sp) e, 85,9% e 89,7% (Tp) - incluindo a fração de “cinzas e partículas” na sub-divisão “morta”.

O fator de combustão para o total da biomassa rasteira presente em cada eco-região, com / sem “cinzas e partículas”, foi de 76,7% / 89,2% (Sg), 85,7% / 93,5% (Sp) e 82,2% / 95,3% (Tp). Excluindo "cinzas e partículas", a concentração de carbono entre todas as frações individuais variou de 30,2% C (Cyperaceae, pré em Sg) a 48,4% C (folhas mortas, pós em Sp). Pelo mesmo modo, a média ponderada (viva + morta) para todas as frações, por ambiente, nas fases pré e pós-queima foi, respectivamente, 35,0% C e 40,0% C para Sg, 39,8% C e 42,1% C para

TABELA 9 - Biomassa rasteira acima do solo (pré e pós-queima), estoque de carbono e fator de combustão (FC) para as savanas Sg (gramíneo-lenhosa), Sp (parque) e Tp (estépica-parque) de Roraima.

| Eco-região e Classe de Fração | | Pré-queima | | | | | Pós-queima | | | | | FC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Biomassa | | Carbono | | | Biomassa | | Carbono | | | Biomassa |
| | | kg.ha$^{-1}$ | DP $_b$ | % C | DP $_c$ | kg C.ha$^{-1}$ | kg.ha$^{-1}$ | DP $_b$ | % C | DP $_c$ | kg C.ha$^{-1}$ | (%) |
| **Sg (gramíneo-lenhosa)** | | | | | | | | | | | | |
| Viva | Capim | 2107.2 | (803.5) | 36.0 | (2.6) | 758.8 | 90.6 | (113.8) | 37.5 | (2.9) | 34.0 | 95.7 |
| | Ervas | 87.2 | (385.9) | 38.9 | (3.1) | 33.9 | 3.6 | (5.4) | 37.9 | (4.1) | 1.3 | 95.9 |
| | Cyperaceae | 318.6 | (543.9) | 30.2 | (5.0) | 96.4 | 143.3 | (289.1) | 40.2 | (2.9) | 57.6 | 55.0 |
| | Arvoretas | 39.7 | (126.6) | 41.5 | (3.2) | 16.5 | 11.6 | (56.3) | 42.3 | (0.2) | 4.9 | 70.7 |
| *Sub-total Viva* | | *2552.7* | *(1136.7)* | *35.5* | *(3.4)* | *905.5* | *249.0* | *(351.3)* | *39.3* | *(2.5)* | *97.8* | *90.2* |
| Morta | Folhas | 30.6 | (53.3) | 42.9 | (2.5) | 13.1 | 4.8 | (12.9) | 44.2 | (2.2) | 2.1 | 84.3 |
| | Litter | 335.0 | (254.1) | 30.6 | (4.1) | 102.6 | 61.4 | (127.5) | 42.3 | (13.5) | 26.0 | 81.7 |
| *Sub-total Morta* | | *365.6* | *(275.9)* | *31.6* | *(3.2)* | *115.7* | *66.3* | *(130.0)* | *42.5* | *(7.7)* | *28.1* | *81.9* |
| Cinzas e Partículas (1) | | - | - | - | - | - | 366.0 | (759.7) | 14.9 | (2.7) | 54.7 | - |
| ***Sub-Total (Sg)*** | | ***2918*** | ***(1309.8)*** | ***35.0*** | ***(3.3)*** | ***1021*** | ***681*** | ***(960.0)*** | ***40.0*** | ***(4.8)*** | ***181*** | ***76.7*** |
| **Sp (parque)** | | | | | | | | | | | | |
| Viva | Capim | 3260.5 | (1265.4) | 39.7 | (2.3) | 1295.9 | 151.3 | (127.1) | 42.0 | (3.1) | 63.6 | 95.4 |
| | Ervas | 74.4 | (91.8) | 45.5 | (2.0) | 33.8 | 14.2 | (18.9) | 45.7 | (2.7) | 6.5 | 80.9 |
| | Cyperaceae | 105.1 | (133.4) | 40.4 | (3.7) | 42.5 | 3.3 | (14.9) | 42.1 | (4.3) | 1.4 | 96.9 |
| | Arvoretas | 180.9 | (180.0) | 47.7 | (3.0) | 86.4 | 17.1 | (35.0) | 41.5 | (3.0) | 7.1 | 90.6 |
| *Sub-total Viva* | | *3621.0* | *(1302.7)* | *40.3* | *(2.7)* | *1458.6* | *185.8* | *(133.1)* | *42.3* | *(3.3)* | *78.5* | *94.9* |
| Morta | Folhas | 180.1 | (215.7) | 41.9 | (5.7) | 75.5 | 4.8 | (9.1) | 48.4 | (0.1) | 2.3 | 97.4 |
| | Litter | 338.9 | (139.5) | 33.6 | (4.6) | 113.9 | 77.1 | (91.1) | 41.3 | (11.7) | 31.9 | 77.2 |
| Sub-total Morta | | 519.1 | (277.9) | 36.5 | *(5.2)* | 189.5 | 81.9 | (93.8) | 41.7 | *(5.4)* | 34.2 | 84.2 |
| Cinzas e Partículas | | - | - | - | - | - | 323.7 | (225.7) | 17.0 | (4.4) | 54.9 | - |
| ***Sub-Total (Sp)*** | | ***4140*** | ***(1527.1)*** | ***39.8*** | ***(3.9)*** | ***1648*** | ***591*** | ***(276.3)*** | ***42.1*** | ***(4.3)*** | ***168*** | ***85.7*** |
| **Tp (estépica-parque)** | | | | | | | | | | | | |
| Viva | Capim | 2385.5 | (1593.9) | 39.9 | (1.8) | 952.1 | 30.7 | (40.4) | 42.1 | (1.8) | 12.9 | 98.7 |
| | Ervas | 77.7 | (107.6) | 43.7 | (2.3) | 34.0 | 49.5 | (75.7) | 44.8 | (4.9) | 22.2 | 36.3 |
| | Cyperaceae | 85.1 | (159.4) | 40.7 | (2.1) | 34.7 | 2.4 | (9.0) | 43.6 | - | 1.0 | 97.2 |
| | Arvoretas | 24.7 | (58.0) | 44.3 | (1.2) | 10.9 | 12.2 | (23.5) | 46.0 | (2.3) | 5.6 | 50.5 |
| *Sub-total Viva* | | *2573.0* | *(1563.6)* | *40.1* | *(1.8)* | *1031.7* | *94.9* | *(80.0)* | *44.1* | *(2.3)* | *41.8* | *96.3* |
| Morta | Folhas | 99.3 | (152.3) | 42.7 | (2.6) | 42.4 | 3.3 | (11.6) | 35.7 | - | 1.2 | 96.6 |
| | Litter | 321.4 | (318.6) | 36.4 | (4.7) | 116.9 | 41.9 | (67.6) | 41.7 | (11.7) | 17.5 | 87.0 |
| *Sub-total Morta* | | *420.7* | *(461.2)* | *37.9* | *(3.6)* | *159.3* | *45.2* | *(75.0)* | *41.3* | *(6.3)* | *18.6* | *89.3* |
| Cinzas e Partículas | | - | - | - | - | - | 391.9 | (468.9) | 14.9 | (3.1) | 58.4 | - |
| ***Sub-Total (Tp)*** | | ***2994*** | ***(1787.6)*** | ***39.8*** | ***(2.7)*** | ***1191*** | ***532*** | ***(513.1)*** | ***43.2*** | ***(4.0)*** | ***119*** | ***82.2*** |

(1) Cinzas e material particulado foram considerados separadamente da biomassa rasteira por representarem frações transformadas das pré-existentes.
(2) DP = Desvio padrão da média (b = da biomassa e c = da % de carbono).

Sp e 39,8% C e 43,2% C para Tp. A concentração de carbono para a fração “cinzas e partículas”, isoladamente, foi de 14,9% (Sg), 17,0% (Sp) e 14,9% (Tp). Com isto, o estoque de carbono total (ponderado) contido nas fases pré e pós-queima foi, seqüencialmente, de 1.021 kg C.ha$^{-1}$ e 181 kg C.ha$^{-1}$ (Sg), 1.648 kg C.ha$^{-1}$ e 168 kg C.ha$^{-1}$ (Sp), 1.191 kg C.ha$^{-1}$ e 119 kg C.ha$^{-1}$ (Tp).

### 5.2.2 Biomassa Arbórea e Concentração de Carbono

Os modelos que mais se adequaram à determinação da biomassa arbórea individual para todos os sistemas e grupos de espécies (incluindo as folhas) estão listados na TABELA 10. A análise dos indicadores de precisão apontou que o ***Modelo 4*** foi o que melhor expressou a relação entre biomassa arbórea seca viva (ou morta em pé com a exclusão das folhas) e os parâmetros medidos dos 130 indivíduos amostrados. Além disto, o erro padrão da estimativa (28,3%) se enquadrou dentro do estabelecido previamente no item 5.1.1.2 (20-30% para a amostragem).

O inventário quantitativo analisou 3.601 indivíduos arbóreos (2.820 vivos e 781 mortos) com Db $ 2 cm, nas três eco-regiões e seus respectivos sub-sistemas (ralo, médio e denso). O sistema com maior número de indivíduos foi Tp (588 ind.ha$^{-1}$), seguido de Sp (434 ind.ha$^{-1}$) e Sg (293 ind.ha$^{-1}$) (TABELA 11). Levando em consideração uma média ponderada das três paisagens observadas, o número de indivíduos por unidade de área se estabeleceu em 412 ind.ha$^{-1}$ (320 vivos e 92 mortos). Os indivíduos mortos foram representados por (1) árvores ou tocos “em pé” (72,6%) e (2) qualquer peça de madeira “tombada” (27,4%) com diâmetro médio superior a 2 cm. Nos três ambientes, a porcentagem média de indivíduos vivos (> 70%) foi sempre maior que a de mortos (< 30%).

TABELA 10 - Modelos de regressão para estimativa da biomassa (individual) acima do solo das espécies arbóreas ou arbustivas (viva ou morta em pé) com Db $ 2 cm presentes em três sistemas de savanas (Sg, Sp e Tp) de Roraima, Amazônia.

| Modelo de Regressão (1) | Coeficiente | Valor do Coeficiente | Erro Padrão (2) | $r^2$ / $R^2$ (3) | Erro Padrão da Estimativa (%) (4) | Nível de Significância de "p" |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Modelo 1:<br>**ln(Bs) = a + b.(Ht) + c.(Db) + d.(Dc)** | a<br>b<br>c<br>d | -2,242<br>0,527<br>8,750<br>0,536 | 0,120<br>0,092<br>3,701<br>0,151 | 0,877 | 78,3 | < 0,001<br>< 0,001<br>< 0,02<br>< 0,001 |
| Modelo 2 :<br>**ln(Bs) = a + b.ln(Db)** | a<br>b | 9,256<br>3,120 | 0,197<br>0,069 | 0,941 | 54,4 | < 0,001<br>< 0,001 |
| Modelo 3 :<br>**ln(Bs) = a + b.ln(Db) + c.ln(Dc)** | a<br>b<br>c | 4,827<br>1,646<br>1,379 | 0,306<br>0,102<br>0,088 | 0,979 | 32,0 | < 0,001<br>< 0,001<br>< 0,001 |
| Modelo 4 :<br>**ln(Bs) = a + b.ln(Ht) + c.ln(Db) + d.ln(Dc)** | a<br>b<br>c<br>d | 4,501<br>0,459<br>1,589<br>1,025 | 0,277<br>0,076<br>0.091<br>0,098 | 0,984 | 28,3 | < 0,001<br>< 0,001<br>< 0,001<br>< 0,001 |

(1) **Bs=** biomassa seca (kg); **Db=** diâmetro de base medido à 1cm do solo (m); **Ht=** altura total (m); **Dc=** diâmetro da copa (m);
(2) indicado para o valor de intersecção e para os coeficientes parciais da regressão de cada variável independente;
(3) coeficiente de determinação ($r^2$ para regressão simples e $R^2$ para regressão múltipla); porcentagem da variação total em Y que é explicada pela regressão ajustada;
(4) indica a precisão na estimativa dos valores de biomassa individual.

Os indivíduos listados na tabela anterior representaram uma média de biomassa arbórea acima do solo de 367 kg.ha$^{-1}$ (Sg), 1.910 kg.ha$^{-1}$ (Sp) e 3.592 kg.ha$^{-1}$ (Tp) (TABELA 12). A média ponderada para as três paisagens foi de 1.671 kg.ha$^{-1}$ : 1.581 kg.ha$^{-1}$ de indivíduos vivos (madeira + folhas) e 90 kg.ha$^{-1}$ de indivíduos mortos (78 kg.ha$^{-1}$ "em pé" e 12 kg.ha$^{-1}$ "tombado"). Em termos da biomassa arbórea, a relação média entre massa viva (> 93%) e morta (< 7%) para todas as paisagens foi mais distanciada do que a determinada para o total de indivíduos. A média de participação da biomassa arbórea no sub-sistema "ralo" (0,7%) foi menor do que o "médio" (13,3%) e o "denso" (86,0%).

Tabela 11 - Número de indivíduos arbóreos (vivo e morto) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp) por sub-sistemas vegetacionais (ralo, médio e denso).

| Sub-sistema | **Sg** | | | | **Sp** | | | | **Tp** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vivos | Mortos (1) | | Total | Vivos | Mortos | | Total | Vivos | Mortos | | Total |
| | | Em pé | Tombado | | | Em pé | Tombado | | | Em pé | Tombado | |
| | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) | (n/ha) |
| Ralo | 125 | 9 | 0 | 134 | 156 | 14 | 9 | 179 | 74 | 30 | 0 | 104 |
| | (193) | (43) | - | (200) | (203) | (44) | (43) | (239) | (149) | (91) | - | (210) |
| Médio | 223 | 65 | 15 | 304 | 292 | 44 | 12 | 348 | 412 | 147 | 45 | 604 |
| | (254) | (118) | (49) | (350) | (262) | (93) | (46) | (309) | (292) | (149) | (87) | (423) |
| Denso | 446 | 57 | 15 | 518 | 591 | 94 | 63 | 747 | 501 | 98 | 65 | 664 |
| | (407) | (111) | (41) | (441) | (514) | (144) | (88) | (630) | (619) | (132) | (104) | (694) |
| Média Ponderada | 236 | 47 | 10 | 293 | 354 | 53 | 26 | 434 | 420 | 119 | 49 | 588 |
| | (264) | (94) | (33) | (323) | (325) | (98) | (58) | (391) | (406) | (138) | (87) | (511) |
| (%) | 80.4 | 16.1 | 3.6 | - | 81.7 | 12.2 | 6.1 | - | 71.4 | 20.3 | 8.4 | - |

(1) Morto (em pé) - indivíduo arbóreo ou toco ainda fixo ao solo pela base;
Morto (tombado) - peças lenhosas caídas ao solo com diâmetro superior a 2cm.
(2) Desvio Padrão entre parenteses.

Tabela 12 - Biomassa arbórea acima do solo (viva e morta) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp), por sub-sistema vegetacional (ralo, médio e denso).

| Sub-sistema | **Sg** | | | | | **Sp** | | | | | **Tp** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vivos | | Mortos | | Total | Vivos | | Mortos | | Total | Vivos | | Mortos | | Total |
| | Madeira (kg/ha) | Folhas | Em pé (kg/ha) | Tombado | (kg/ha) | Madeira (kg/ha) | Folhas | Em pé (kg/ha) | Tombado | (kg/ha) | Madeira (kg/ha) | Folhas | Em pé (kg/ha) | Tombado | (kg/ha) |
| Ralo | 2.8 | 1.1 | 0.2 | 0.0 | 4 | 11.0 | 3.4 | 9.5 | 0.5 | 24 | 79.6 | 8.4 | 2.2 | 0.0 | 90 |
| | | | (1) | - | (8) | (35) | | (46) | (3) | (63) | (338) | | (7) | - | (342) |
| Médio | 133 | 28 | 14 | 3 | 178 | 427 | 46 | 136 | 2 | 612 | 1308 | 128 | 26 | 28 | 1490 |
| | (547) | | (62) | (13) | (587) | (993) | | (725) | (12) | (1641) | (1751) | | (38) | (106) | (1744) |
| Denso | 1286 | 128 | 50 | 11 | 1474 | 4859 | 349 | 98 | 53 | 5358 | 6445 | 418 | 361 | 13 | 7237 |
| | (2443) | | (142) | (47) | (2453) | (10713) | | (465) | (152) | (10715) | (7804) | | (2055) | (26) | (7828) |
| Média Ponderada | 309 | 39 | 16 | 4 | 367 | 1666 | 128 | 100 | 17 | 1910 | 3189 | 230 | 153 | 20 | 3592 |
| | (739) | | (59) | (16) | (762) | (3699) | | (514) | (52) | (4032) | (3970) | | (812) | (67) | (3975) |
| (%) | 84.1 | 10.6 | 4.5 | 1.0 | - | 87.2 | 6.7 | 5.2 | 0.9 | - | 88.8 | 6.4 | 4.3 | 0.6 | - |

(1) Desvio Padrão entre parenteses

A maior parte da biomassa total acima do solo viva, para todos os grupos de espécies e diâmetros de base avaliados, estava contida no grupo denominado “Caimbé” com 1.218 kg.ha$^{-1}$ (81 ind.ha$^{-1}$) ou 72,9% do total (TABELA 13). Em seguida se situaram os grupos do “Mirixi” (142 ind.ha$^{-1}$) com 410 kg.ha$^{-1}$ (24,5%) e de “Outros” (98 ind.ha$^{-1}$) com 43 kg.ha$^{-1}$ (2,6%). A classe de diâmetro de base com maior concentração de biomassa média ponderada para as três eco-regiões foi a Db >10cm, com 1.354 kg.ha$^{-1}$ (44 ind.ha$^{-1}$) ou 81% do total da biomassa média por unidade de área. A paisagem com maior proporção desta classe diamétrica foi Tp (84,4%), seguida de Sp (83,4%) e Sg (52,0%). A classe diamétrica de menor concentração foi a dos indivíduos com diâmetro de base entre 2 e 5 cm, variando sua participação de 1,9% a 9,1% entre as paisagens. A classe de concentração de massa intermediária foi a de 5 a 10 cm de diâmetro (13,7% a 38,9%).

Tabela 13 - Biomassa arbórea acima do solo (viva e morta) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp), por diâmetro de base e grupo de espécie.

| Grupo de Espécies | Condição | **Sg** Classe Diamétrica (cm) 2-5 | 5-10 | > 10 | Total (kg/ha) | **Sp** Classe Diamétrica (cm) 2-5 | 5-10 | > 10 | Total (kg/ha) | **Tp** Classe Diamétrica (cm) 2-5 | 5-10 | > 10 | Total (kg/ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mirixi | vivo | 19.4 | 106.4 | 88.7 | 214.6 | 30.5 | 197.4 | 467.0 | 695.0 | 13.3 | 92.2 | 151.7 | 257.2 |
| | morto | 3.1 | 7.1 | 3.5 | 13.6 | 6.2 | 15.0 | 33.7 | 54.9 | 6.0 | 5.3 | 0.0 | 11.2 |
| Caimbé | vivo | 2.7 | 5.5 | 86.6 | 94.8 | 1.2 | 41.2 | 1010.3 | 1052.7 | 18.1 | 369.0 | 2740.6 | 3127.8 |
| | morto | 1.2 | 0.0 | 3.5 | 4.8 | 0.0 | 2.8 | 57.2 | 60.0 | 6.7 | 6.4 | 140.9 | 154.0 |
| Outros | vivo | 5.4 | 24.0 | 8.6 | 38.0 | 7.7 | 13.4 | 24.5 | 45.6 | 15.7 | 18.3 | 0.0 | 34.0 |
| | morto | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 1.5 | 0.3 | 0.0 | 1.7 | 8.1 | 0.0 | 0.0 | 8.1 |
| Geral | vivo | 27.5 | 135.9 | 183.9 | 347 | 39.4 | 252.0 | 1501.8 | 1793 | 47.1 | 479.5 | 2892.3 | 3419 |
| | morto | 5.9 | 7.1 | 7.0 | 20 | 7.6 | 18.1 | 90.9 | 117 | 20.7 | 11.6 | 140.9 | 173 |
| | Total | 33 | 143 | 191 | 367 | 47 | 270 | 1593 | 1910 | 68 | 491 | 3033 | 3592 |
| (%) | | 9.1 | 38.9 | 52.0 | - | 2.5 | 14.1 | 83.4 | - | 1.9 | 13.7 | 84.4 | - |

O fator de combustão (FC) das folhas da biomassa arbórea foi de 7,4% em Sg, 4,3% em Sp e 3,8% em Tp (TABELA 14). O FC da madeira viva foi de 0,1% do FC das folhas de cada paisagem correspondente : 0,007% (Sg), 0,004% (Sp) e 0,004% (Tp). O FC da madeira morta “tombada” apresentou valores mais elevados : 18,4% (Sg), 22,8% (Sp) e 31,8% (Tp). O FC para biomassa arbórea morta “em pé” foi estimado como sendo de 10% do resultado das “tombadas” : 1,8% (Sg), 2,3% (Sp) e 3,2% (Tp).

A concentração de carbono (% C) nos diferentes componentes da biomassa arbórea foi, seqüencialmente para folhas e madeira, 49,2% e 46,2% (Sg), 47,2% e 46,3% (Sp) e 44,6% e 43,6% (Tp) (TABELA 15). As concentrações de carbono foram maiores no componente foliar dos grupos “Mirixi” e “Outros” (> 50%). As menores foram encontradas no componente madeira viva do grupo “Caimbé” na eco-região Tp (43-44%).

TABELA 14 - Fator de combustão das folhas e da madeira (viva e morta) presente nos indivíduos das savanas Sg, Sp e Tp em Roraima, por grupo de espécie.

| Grupo de Espécies | FOLHAS PRESENTE | | FATOR DE COMBUSTÃO (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (%) Folhas Verdes (Não-queimadas) | (%) Folhas Secas (Mortas Presente) | Folhas (Eliminadas) | Madeira Viva (1) | Madeira Morta (2) | |
| | | | | | Tombada | Em pé |
| **Sg** | | | | | | |
| Mirixi | 15.1 | 78.3 | 6.6 | | | |
| | (30.4) | (33.0) | (17.2) | | | |
| Caimbé | 20.0 | 77.0 | 3.0 | | | |
| | (20.0) | (21.0) | (4.3) | | | |
| Outros | 19.0 | 58.7 | 22.3 | | | |
| | (5.2) | (45.9) | (42.9) | | | |
| **Média Sg** | **16.9** | **75.8** | **7.4** | **0.007** | **18.4** | **1.8** |
| | (24.8) | (31.2) | (16.5) | | | |
| **Sp** | | | | | | |
| Mirixi | 19.9 | 75.0 | 5.1 | | | |
| | (36.8) | (37.5) | (15.1) | | | |
| Caimbé | 20.7 | 77.8 | 1.5 | | | |
| | (20.4) | (20.1) | (2.6) | | | |
| Outros | 44.6 | 39.8 | 15.6 | | | |
| | (10.1) | (32.3) | (24.8) | | | |
| **Média Sp** | **31.8** | **63.9** | **4.3** | **0.004** | **22.8** | **2.3** |
| | (34.9) | (36.2) | (12.7) | | | |
| **Tp** | | | | | | |
| Mirixi | 18.4 | 76.2 | 5.5 | | | |
| | (34.7) | (36.0) | (15.6) | | | |
| Caimbé | 20.0 | 77.3 | 2.8 | | | |
| | (21.0) | (26.7) | (5.2) | | | |
| Outros | 1.5 | 62.1 | 36.4 | | | |
| | (6.0) | (31.6) | (52.5) | | | |
| **Média Tp** | **37.2** | **59.0** | **3.8** | **0.004** | **31.8** | **3.2** |
| | (23.9) | (27.0) | (9.1) | | | |

(1) Fator de Combustão de madeira viva foi estimado, em média, como 0,1% do fator das folhas após observações de campo.
(2) Fator de Combustão da madeira morta tombada foi determinado em associação com os trabalhos decomposição e mortalidade. O da madeira morta em pé foi estimado como 10% do fator das tombad
(3) Desvio padrão entre parenteses.

Tabela 15 - Concentração de carbono (%) nas diferentes frações da biomassa arbórea acima do solo (viva e morta) presente nos sistemas de savana de Roraima (Sg, Sp e Tp), por grupo de espécies e fracionamento dos componentes arbóreos.

| Grupo de Espécies | Condição | **Sg** | | | | | **Sp** | | | | | **Tp** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Componentes Arbóreos (% C) | | | | Média Ponderada Madeira | Componentes Arbóreos (% C) | | | | Média Ponderada Madeira | Componentes Arbóreos (% C) | | | | Média Ponderada Madeira |
| | | Folhas | Peças de Madeira | | | | Folhas | Peças de Madeira | | | | Folhas | Peças de Madeira | | | |
| | | | < 5 | 5 - 10 | > 10 | | | < 5 | 5 - 10 | > 10 | | | < 5 | 5 - 10 | > 10 | |
| Mirixi | vivo | 51.5 | 46.1 | 47.6 | 46.5 | 46.6 | 51.0 | 46.0 | 46.7 | 46.3 | 46.3 | 53.2 | 46.6 | 47.3 | 46.0 | 46.8 |
| | morto | - | 49.2 | 48.5 | 47.3 | 48.8 | - | 49.2 | 48.5 | 47.3 | 48.6 | - | 49.2 | 48.5 | 47.3 | 49.0 |
| Caimbé | vivo | 43.7 | 43.5 | 45.8 | 45.3 | 45.0 | 44.5 | 45.5 | 46.2 | 46.7 | 46.2 | 43.8 | 44.0 | 42.9 | 43.0 | 43.2 |
| | morto | - | 44.4 | 44.5 | 45.4 | 44.8 | - | 44.4 | 44.5 | 45.4 | 44.9 | - | 44.4 | 44.5 | 45.4 | 44.9 |
| Outros | vivo | 50.0 | 45.8 | 47.1 | 48.3 | 46.5 | 50.2 | 46.2 | 46.5 | 45.3 | 46.0 | 51.9 | 44.9 | 46.5 | 45.0 | 45.2 |
| | morto | - | 46.0 | 45.5 | 46.5 | 46.0 | - | 46.0 | 45.5 | 46.5 | 45.9 | - | 46.0 | 45.5 | 46.5 | 46.0 |
| Média Ponderada Geral | vivo | 49.2 | 45.3 | 47.0 | 46.4 | 46.2 | 47.2 | 45.7 | 46.4 | 46.5 | 46.3 | 44.6 | 44.2 | 43.3 | 43.2 | 43.5 |
| | morto | - | 47.8 | 47.3 | 46.8 | 47.6 | - | 46.7 | 46.4 | 46.3 | 46.6 | - | 44.8 | 44.8 | 45.5 | 45.2 |
| | Total | 49.2 | 45.5 | 47.1 | 46.4 | 46.2 | 47.2 | 45.7 | 46.4 | 46.5 | 46.3 | 44.6 | 44.2 | 43.4 | 43.3 | 43.6 |

(1) Média ponderada da madeira foi reaizada em função da concentração (em massa) de gravetos, galhos e troncos entre os diferentes grupos de espécies.

### 5.2.3 Biomassa Total e Destino do Carbono (Estoque e Liberação)

A média de biomassa total (rasteira + arbórea + cinzas e partículas) acima do solo para as três eco-regiões foi, respectivamente para pré e pós-queima, de 3.286 kg.ha$^{-1}$ e 1.045 kg.ha$^{-1}$ (Sg), 6.051 kg.ha$^{-1}$ e 2.490 kg.ha$^{-1}$ (Sp) e, 6.586 kg.ha$^{-1}$ e 4.105 kg.ha$^{-1}$ (Tp) (TABELA 16). Os fatores de combustão (FC) para a biomassa total foram de 68,2% (Sg), 58,8% (Sp) e 37,7% (Tp). A média geral ponderada para as três paisagens foi de 5.010 kg.ha$^{-1}$ na pré-queima e 2.276 kg.ha$^{-1}$ na pós-queima, representando uma fator de combustão (FC) geral de 54,6%. Pela média ponderada, "cinzas e partículas" somaram 358,5 kg.ha$^{-1}$ ou um total de 55,9 kg C.ha$^{-1}$ (15,6% C). A biomassa rasteira foi responsável, em média, por 99,6% da liberação instantânea de carbono para a atmosfera, enquanto que a biomassa arbórea por apenas 0,4%.

O destino do carbono pré-queima medido na pós-queima variou de 39,2% a 70,7% para carbono liberado para a atmosfera e, de 2,1% a 4,6% para carbono de longo prazo estocado pela formação das cinzas (material particulado) (FIGURA 15). O restante continuou na forma de biomassa (viva e morta). Da média ponderada de carbono pré-existente por unidade de área nas três paisagens (2.026 kg C.ha$^{-1}$), 1.103 kg C.ha$^{-1}$ foram presumidamente liberados para a atmosfera no ato da passagem do fogo, enquanto que 799 kg C.ha$^{-1}$ permaneceram nos tecidos vivos da biomassa presente e 67 kg C.ha$^{-1}$ contidos nos tecidos mortos da biomassa remanescente. O restante (56 kg C.ha$^{-1}$) entrou no sistema como estoque de longo prazo na forma de minúsculas partículas de carbono.

Transportando estes valores para a área total anual atingida por queimadas em Sg, Sp eTp (3,23 x 10$^6$ ha) e, aproveitando o roteiro de cálculo do IPCC/OECD (1994 ; 1997) (vide ANEXO III), o montante de carbono afetado pelas três paisagens foi de 2,871 x 10$^6$ t C / ano, considerando o período de 1990/99 (TABELA 17). Deste total, 1,51 x 10$^6$ t C / ano foram emitidos instantaneamente para a atmosfera e 0,078 x 10$^6$ t C / ano foram estocados na forma de partículas de carbono (longo prazo) para toda a área atingida.

TABELA 16 - Resumo geral da biomassa total acima do solo (viva e morta), do destino (estoque e liberação) do carbono e do fator de combustão para as três savanas (Sg, Sp e Tp) de Roraima, nas fases pré e pós-queima.

| Classe de Biomassa | Condição | Pré-queima | | | Pós-queima | | | FC Biomassa | Participação do C Remanescente em Relação ao C Pré-queima | Estoque e Liberação de C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Biomassa | | Carbono | Biomassa | | Carbono | | | |
| | | (kg/ha) | % C | (kg C/ha) | (kg/ha) | % C | (kg C/ha) | (%) | (%) | (kg C/ha) |
| **Sg** | | | | | | | | | | |
| Rasteira | viva | 2552.7 | 35.5 | 905.5 | 249.0 | 39.3 | 97.8 | 90.2 | 8.2 | 807.7 |
| | | (1137) | (3.4) | (1121) | (351) | (2.5) | (304) | | | |
| | morta | 365.6 | 31.6 | 115.7 | 66.3 | 42.5 | 28.1 | 81.9 | 2.4 | 87.6 |
| | | (276) | (3.2) | (254) | (130) | (7.7) | (82) | | | |
| Arbórea | viva | 347.6 | 46.5 | 161.6 | 344.8 | 46.5 | 160.2 | 0.8 | 13.4 | 1.4 |
| | | (739) | (0.9) | (652) | (739) | (0.9) | (651) | | | |
| | morta | 20.0 | 47.2 | 9.5 | 19.0 | 47.2 | 9.0 | 4.9 | 0.8 | 0.5 |
| | | (51) | (2.0) | (17) | (51) | (2.0) | (29) | | | |
| Cinzas e Partículas | | - | - | - | 366.0 | 14.9 | 54.7 | - | 4.6 | -54.7 |
| | | - | - | - | (760) | (2.7) | (730) | | | |
| ***Sub-total (Sg)*** | | ***3286*** | ***36.3*** | ***1192*** | ***1045*** | ***43.5*** | ***350*** | ***68.2*** | ***29.3*** | - |
| | | ***(992)*** | ***(15.5)*** | ***(981)*** | ***(518)*** | ***(3.2)*** | ***(497)*** | | | |
| Liberação Presumida | | - | - | - | - | - | - | - | ***70.7*** | ***842*** |
| Estoque de C | Bio. viva (1) | - | - | - | - | - | - | - | ***21.6*** | ***258*** |
| | curto prazo | - | - | - | - | - | - | - | ***3.1*** | ***37*** |
| | longo prazo | - | - | - | - | - | - | - | ***4.6*** | ***55*** |
| **Sp** | | | | | | | | | | |
| Rasteira | viva | 3621.0 | 40.3 | 1458.6 | 185.8 | 42.3 | 78.5 | 94.9 | 3.1 | 1380.1 |
| | | (1303) | (2.7) | (1289) | (133) | (3.3) | (109) | | | |
| | morta | 519.1 | 36.5 | 189.5 | 81.9 | 41.7 | 34.2 | 84.2 | 1.3 | 155.3 |
| | | (278) | (5.2) | (260) | (94) | (5.4) | (64) | | | |
| Arbórea | viva | 1793.9 | 46.3 | 830.9 | 1788.3 | 46.3 | 828.3 | 0.3 | 32.7 | 2.6 |
| | | (3699) | (0.2) | (3606) | (3699) | (0.2) | (3606) | | | |
| | morta | 116.7 | 46.9 | 54.7 | 110.5 | 46.9 | 51.8 | 5.2 | 2.0 | 2.9 |
| | | (447) | (1.9) | (319) | (447) | (1.9) | (314) | | | |
| Cinzas e Partículas | | - | - | - | 323.7 | 17.0 | 54.9 | - | 2.2 | -54.9 |
| | | - | - | - | (226) | (4.4) | (215) | | | |
| ***Sub-total (Sp)*** | | ***6051*** | ***41.9*** | ***2534*** | ***2490*** | ***45.8*** | ***1048*** | ***58.8*** | ***41.3*** | - |
| | | ***(1909)*** | ***(2.3)*** | ***(1896)*** | ***(2719)*** | ***(2.8)*** | ***(2670)*** | | | |
| Liberação Presumida | | - | - | - | - | - | - | - | ***58.7*** | ***1486*** |
| C Remanescente | Bio. viva | - | - | - | - | - | - | - | ***35.8*** | ***907*** |
| | curto prazo | - | - | - | - | - | - | - | ***3.4*** | ***86*** |
| | longo prazo | - | - | - | - | - | - | - | ***2.2*** | ***55*** |
| **Tp** | | | | | | | | | | |
| Rasteira | viva | 2573.0 | 40.1 | 1031.7 | 94.9 | 44.1 | 41.8 | 96.3 | 1.5 | 989.8 |
| | | (1563) | (1.8) | (1539) | (80) | (2.3) | (55) | | | |
| | morta | 420.7 | 37.9 | 159.3 | 45.2 | 41.3 | 18.6 | 89.3 | 0.7 | 140.6 |
| | | (461) | (3.6) | (423) | (75) | (6.3) | (42) | | | |
| Arbórea | viva | 3419.6 | 43.6 | 1490.5 | 3410.6 | 43.6 | 1486.6 | 0.3 | 53.8 | 4.0 |
| | | (3970) | (1.8) | (3920) | (3970) | (1.8) | (3920) | | | |
| | morta | 173.2 | 46.2 | 80.0 | 162.0 | 46.2 | 74.8 | 6.5 | 2.7 | 5.2 |
| | | (726) | (2.1) | (574) | (726) | (2.1) | (566) | | | |
| Cinzas e Partículas | | - | - | - | 391.9 | 14.9 | 58.4 | - | 2.1 | -58.4 |
| | | - | - | - | (469) | (3.1) | (452) | | | |
| ***Sub-total (Tp)*** | | ***6586*** | ***41.9*** | ***2761*** | ***4105*** | ***43.7*** | ***1680*** | ***37.7*** | ***60.8*** | - |
| | | ***(4464)*** | ***(3.0)*** | ***(4436)*** | ***(3455)*** | ***(4.0)*** | ***(3419)*** | | | |
| Liberação Presumida | | - | - | - | - | - | - | - | ***39.2*** | ***1081*** |
| C Remanescente | Bio. viva | - | - | - | - | - | - | - | ***55.3*** | ***1528*** |
| | curto prazo | - | - | - | - | - | - | - | ***3.4*** | ***93*** |
| | longo prazo | - | - | - | - | - | - | - | ***2.1*** | ***58*** |

(1) Estoque de C vivo é a biomassa remanescente que não morreu; a de curto prazo é o carbono presente na massa morta e, a de longo prazo são as partículas de carvão presentes no sistema pós-queima.
(2) Desvio Padrão entre parenteses.

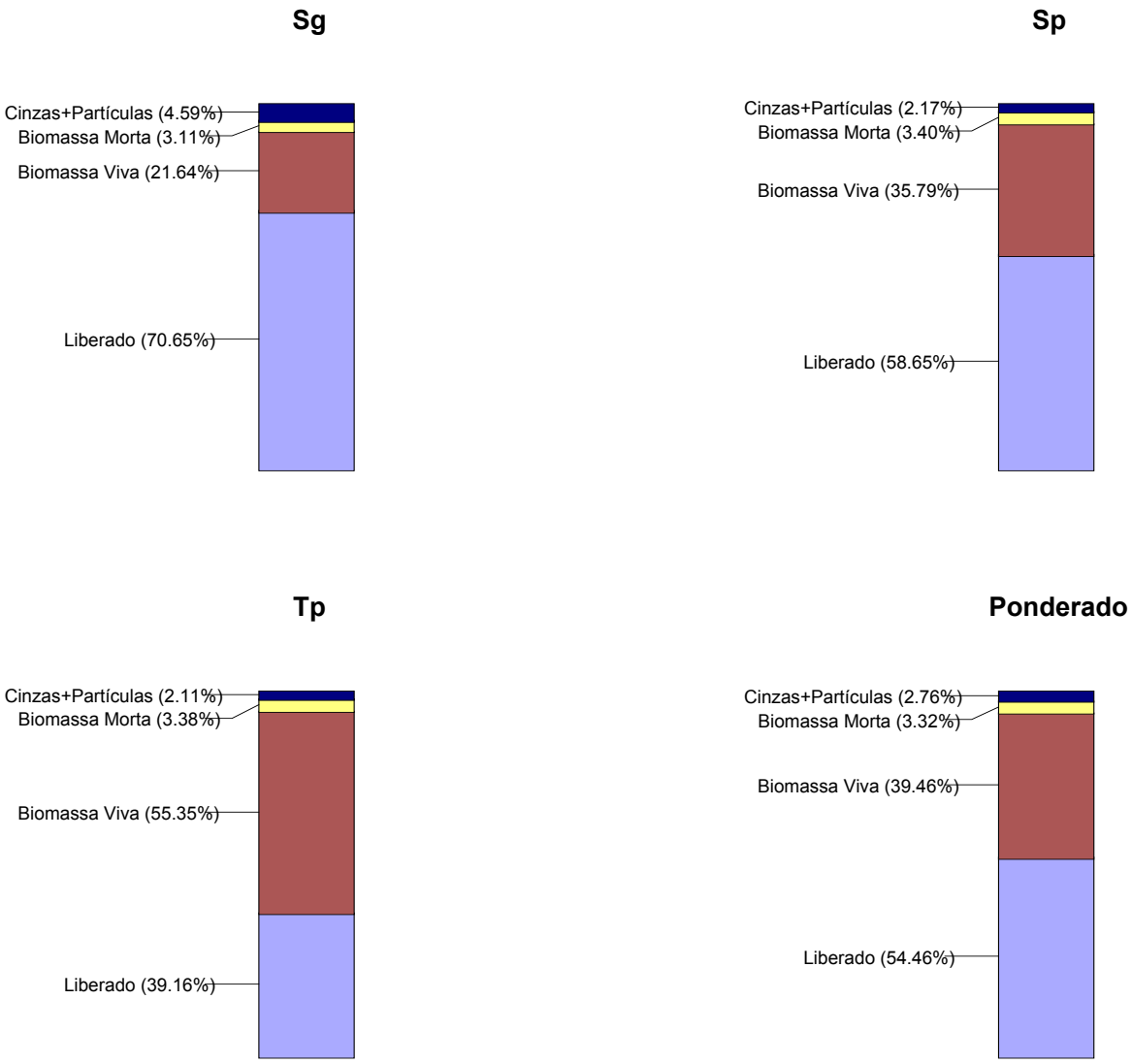



FIGURA 15 - Destino do carbono pré-queima individual (Sg, Sp e Tp) e total (média ponderada) no pós-fogo das savanas de Roraima.

Tabela 17 - Destino do estoque de carbono exposto anualmente, considerando área das paisagens Sg, Sp e Tp, que não sofreram a troca do uso da terra entre 1990/99.

| Paisagem | Área Total | Estoque Biomassa pré-queima | Estoque Carbono pré-queima | Área Queimada | Biomassa Atingida | Carbono Atingido | Destino do Carbono Atingido | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Biomassa | | Material Particulado | Liberado Atmosfera |
| | | | | | | | Viva | Morta | | |
| | ha | $10^6$ t | $10^6$ t | % | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t |
| Sg | 1358642 | 4.464 | 1.620 | 40.8 | 1.821 | 0.661 | 0.143 | 0.021 | 0.030 | 0.467 |
| Sp | 1055323 | 6.385 | 2.674 | 34.0 | 2.173 | 0.910 | 0.326 | 0.031 | 0.020 | 0.534 |
| Tp | 817247 | 5.383 | 2.257 | 57.6 | 3.102 | 1.300 | 0.720 | 0.044 | 0.027 | 0.509 |
| Total | 3231212 | 16.233 | 6.551 | - | 7.096 | 2.871 | 1.188 | 0.095 | 0.078 | 1.510 |

## 5.3 Discussão

### 5.3.1 Biomassa Total

A proporção da biomassa pré-queima entre os componentes arbóreos e rasteiros (bio. arbórea / bio. rasteira) das três paisagens observadas (Sg - 0,13 ; Sp - 0,46 ; Tp - 1,20) , expressou as diferenças estruturais entre as savanas locais e, apontou para uma dinâmica diferenciada quanto ao comportamento do fogo e do destino do carbono. Entretanto, esta afirmativa também envolve a discussão da possibilidade da amostragem não ter representado fielmente estas três savanas de Roraima devido à falhas na randomização dos sítios amostrais. Este ponto foi abordado por Michael KELLER (comunicação pessoal), citando como exemplo o trabalho de BOTKIN & SIMPSON (1990) que mostraram que em um ecossistema de floresta boreal americano, amostragens não totalmente aleatorizadas acabaram provocando distorções na estimativa da densidade da biomassa. Isto afeta diretamente o entendimento da estrutura dos sistemas e, portanto, o comportamento do fogo e das emissões.

Embora falhas na amostragem geral de campo possam ter ocorrido, é importante enfatizar o esforço em trilhar o maior número de áreas diferenciadas nas savanas locais, na tentativa de conjugar a aleatorização dos sítios de amostragem com o projeto de estratificação de diferentes ambientes estruturais para tentar reduzir os erros no resultado geral do trabalho. Mesmo que este esforço possa ter trazido um efeito contrário à amostragem (aumento do erro), é importante destacar que a maioria dos estudos não atenta para esta divisão e, por vezes, acabam produzindo resultados pouco satisfatórios dentro da proposta geral desta investigação que é a de estimar parâmetros para quantificar a emissão de gases do efeito estufa em sistemas de vegetação aberta da Amazônia.

Por comparação e, levando em consideração que este estudo não tenha sido realizado com o intuito de um levantamento fitossociológico, foi possível traçar algumas semelhanças com os recentes resultados de SANAIOTTI (1997) e MIRANDA (1998) para as savanas locais. Por exemplo, mesmo observando as

diferenças no método de amostragem, as espécies arbóreas dominantes nas duas investigações acima (*Curatella americana* e *Byrsonima spp*), foram concordantes com o determinado neste estudo. Pela média ponderada, os grupos formadores destas espécies representaram, juntos, 69,5% do total de indivíduos, enquanto MIRANDA e SANAIOTTI determinaram, respectivamente, 63,9% e 89,1%. XAUD (1998b) trabalhando com três eco-tipos de savana próximos das bordas de floresta contínua na região de Alto Alegre-Mucajaí (Roraima), indicou que o número de indivíduos arbóreos e/ou arbustivos para a Savana Parque (Sp) variava de 60 a 360 ind.ha$^{-1}$. Este valor esta contido entre as classes dos sub-sistemas aqui analisados, embora a média ponderada para Sp aqui determinada tenha sido de 434 ind.ha$^{-1}$.

Para a biomassa rasteira, o trabalho de SIQUEIRA *et al.* (1994) próximo da região do Água Boa (Sg) em Roraima, quantificou que a média de "capim" ao longo dos anos de 1992/93 foi de 2.097 kg.ha$^{-1}$. Este valor é similar ao determinado neste estudo para este mesmo componente desta paisagem (2.107 kg.ha$^{-1}$). SANTOS *et al.* (1998) determinaram uma média de 4,86 t/ha para a biomassa total (rasteira + arbórea) em uma área de savana parque (Sp) na mesma região de contato que XAUD (1998b) trabalhou em Roraima (Alto Alegre-Mucajaí). Este valor é inferior à média ponderada determinada neste trabalho para Sp. Contudo, eu trabalho com a variação estrutural do componente arbóreo (ralo = 0,024 t/ha a denso = 5,4 t/ha). Portanto, diferenças para mais ou para menos vão sempre existir em função da pontualidade da avaliação que determina um único padrão de somatório arbóreo e não considera a variação da eco-região como um todo.

Quanto aos valores individuais de biomassa total, estes são menores do que os observados em recentes investigações nos cerrados do Brasil Central, mesmo levando em consideração as (1) diferentes classificações tipológicas utilizadas e as (2) metodologias para determinação da biomassa arbórea (TABELA 18). A implicação disto nos cálculos das emissões de carbono e gases do efeito

TABELA 18 - Estudos globais sobre avaliação da biomassa pré e pós-queima em savanas.

| Biomassa Acima do Solo | | Cinzas | FC (1) | Carbono | Biomassa Abaixo do Solo | Sistema | Local | Fonte | Observação |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pré ($kg.ha^{-1}$) | Pós ($kg.ha^{-1}$) | ($kg.ha^{-1}$) | (%) | (% C) | ($kg.ha^{-1}$) | | | | |
| **Brasil** | | | | | | | | | |
| 3286 | 679 | 366 | 79.3 | 36.3 | - | Gramineo-lenhosa (Sg) | Amazônia / RR | Este Estudo | . Bio. total compreende rasteira + arbórea; |
| 6051 | 2167 | 324 | 64.2 | 41.9 | - | Parque (Sp) | | | Bio. arbórea estimada por regressão própria; |
| 6586 | 3713 | 392 | 43.6 | 41.9 | - | Estépica-parque (Tp) | | | %C pré-queima. |
| 36790 | - | - | - | - | 41100 | Cerrado "sensu stricto" | Brasil Central | Abdala et al. (1998) | . Bio. abaixo do solo até 6,2m de profundidade |
| 5500 | 400 | 400 | 92.0 | - | 1630 | Campo Limpo | Brasil Central | Castro & Kauffman (1998) | . Bio. total compreende rasteira + arbórea; |
| 9300 | 1400 | 1300 | 84.0 | - | 3010 | Campo Sujo | | | Bio. abaixo do solo até 2m de profundidade; |
| 24800 | 11400 | 2200 | 54.0 | - | 4660 | Cerrado Aberto | | | Bio. arbórea estimada pela regressão de |
| 24900 | 17000 | 1500 | 33.0 | - | 5290 | Cerrado Denso | | | Brown et al. (1989) |
| 7150 | 1000 | - | 86.0 | - | - | Campo Sujo / 1992 | Brasil Central | Miranda et al. (1996) | . Indivíduos c/ altura > 2m não contabilizados |
| 9400 | 650 | - | 93.1 | - | - | Campo Sujo / 1994 | | | |
| 7128 | 2 | 780 | 100.0 | 47.5 | - | Campo Limpo | Brasil Central | Kauffman et al. (1994) | . Indivíduos c/ altura > 2m não contabilizados |
| 7321 | 237 | 341 | 96.8 | 47.8 | - | Campo Sujo | | | |
| 8625 | 2226 | 1049 | 74.2 | 49.9 | - | Campo Cerrado | | | |
| 10031 | 1604 | 2508 | 84.0 | 46.4 | - | Cerrado "sensu stricto" | | | |
| **Venezuela** | | | | | | | | | |
| 8229 | - | - | 93 | - | - | Savana (H. rufa) | Calabozo | Bilbao & Medina (1996) | . Sem contabilização de árvores |
| 3544 | - | - | 94 | - | - | Savana (H. rufa) | | | |
| 7357 | - | - | 83 | - | - | Savana (T. plumosus) | | | |
| 8526 | - | - | 57 | - | - | Savana (T. plumosus) | | | |
| 5670 | - | - | - | - | - | Savana (Paspalum sp e Trachypogon spp) | Caroni | Sarmiento & Vera (1979) | . Média de 4 observações |
| 3265 | - | - | - | - | - | Savana (Trachypogon spp e Axonopus sp) | Calabozo | Medina et al. (1977) | . Média de 4 observações |
| 9160 | - | - | - | - | - | Savana (Trachypogon spp) | Calabozo | San José & Medina (1977) | . Média de 2 observações |
| 6158 | - | - | - | - | 2323 | Savana (Trachypogon spp) | Calabozo | Blydenstein (1963) | . Média de 5 observações<br>. Bio. abaixo do solo até 0,1m de profundidade |

CONTINUA ...

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Austrália** | | | | | | | | | |
| 5600 | - | 480 | 91 | 46 | - | | Nort. Territory | Hurst et al. (1994) | |
| | | | | | | | | | |
| **África** | | | | | | | | | |
| 11224 | 5939 | - | - | - | - | Savana arbórea (Miombo) | Zâmbia | Hoffa et al. (1999) | . Indivíduos c/ H > 2.5m não contabilizados |
| 13233 | 10440 | - | - | - | - | Savana arbórea (Miombo) | | | |
| 8989 | 6491 | - | - | - | - | Savana arbórea (Miombo) | | | |
| 9244 | 7649 | - | - | - | - | Savana arbórea (Miombo) | | | |
| 11378 | 8840 | - | - | - | - | Savana arbórea (Miombo) | | | |
| 8953 | 8880 | - | - | - | - | Savana arbórea (Miombo) | | | |
| 1884 | 511 | 186 | - | - | - | Savana graminosa (Dambo) | Zâmbia | | |
| 2651 | 334 | 171 | - | - | - | Savana graminosa (Dambo) | | | |
| 2990 | 362 | 209 | - | - | - | Savana graminosa (Dambo) | | | |
| 2405 | 527 | 262 | - | - | - | Savana graminosa (Dambo) | | | |
| 3216 | 1798 | 66 | - | - | - | Savana graminosa (Dambo) | | | |
| 3314 | 1606 | 87 | - | - | - | Savana graminosa (Dambo) | | | |
| 3187 | 66 | 253 | - | - | - | Savana graminosa (Dambo) | | | |
| | | | | | | | | | |
| 5100 | 609 | - | - | 47.5 | - | Arbórea árida | Zâmbia | Shea et al. (1996) e | . SAFARI-92 - Indivíduos c/ H > 2m não |
| 5772 | 1523 | - | - | 47.5 | - | Arbórea úmida | | Ward et al. (1996) | contabilizados |
| 7343 | 2958 | - | - | 47.5 | - | Arbórea úmida (descanso) | | | |
| 3164 | 9 | - | - | 47.5 | - | Savana graminosa úmida | | | |
| 7084 | 110 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | Africa do Sul | | |
| 5492 | 620 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| 5200 | | - | - | - | - | Savana parque | | | |
| 3936 | 148 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| 2218 | 741 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| 4444 | 715 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| 3555 | 994 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| 3909 | 2435 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| 3892 | 514 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| 4778 | 789 | - | - | 47.5 | - | Savana parque | | | |
| | | | | | | | | | |
| 8750 | - | - | - | - | - | Savanas | Costa do Marfim | Helas et al. (1995) | . FOS/DECAFE-91 |

CONTINUA ...

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6000 | - | 450 | 85 | 42.4 | - | Sav. Guinea | Avaliação | Menaut et al. (1991) | . Sem informação sobre método de coleta de biomassa |
| 3000 | - | 225 | 85 | 42.4 | - | Sav. North Sudan | Regional | | |
| 1500 | - | 112.5 | 85 | 42.4 | - | Sav. Sahel | | | . Cinzas estimada em 7,5% da biomassa pré-queima |
| 4500 | - | 337.5 | 85 | 42.4 | - | Sav. South Sudan | | | |
| 16600 | - | - | 80 | - | - | Cont. Sav. Arb. & Arbustiva | Avaliação | Delmas et al. (1991a) | . Biomassa total inclui árvores |
| 8500 | - | - | 80 | - | - | Sav. Est. Arbus./Est. Herb. | Regional | | . Biomassa pós foi estimada |
| 19800 | - | - | 80 | - | - | Savana Arbórea | | | |
| 9900 | - | - | 80 | - | - | Savana Estépica Herbaceae | | | |
| 15300 | - | - | 80 | - | - | Savana Úmida | | | |
| 8700 | - | - | - | 44.7 | - | Savana Arbustiva | Costa do Marfim | Delmas (1982) | |
| 6200 | - | - | - | 46.8 | - | Savana Graminosa | | | |
| 5160 | 550 | 400 | - | - | - | Savana Arbórea | Nigéria | Hopkins (1965) | |

estufa para a atmosfera pode ser aferida quando ambientes correspondentes são comparados. Por exemplo, o total pré-queima em Sg (Gramíneo-lenhosa) foi 1,7 e 2,2 vezes menor que os valores determinados para Campo Limpo, por CASTRO & KAUFFMAN (1998) e KAUFFMAN *et al.* (1994), respectivamente.

Da mesma forma, a concentração de carbono média contida em Sg foi mais de 11 pontos percentuais inferior ao seu correlato (campo limpo) listado por KAUFFMAN *et al.* (1994). Estas diferenças acabam provocando distorções nos cálculos se os valores formulados para os sistemas do Brasil Central são transferidos automaticamente para as savanas amazônicas. Elas também apontam que a biomassa das savanas do extremo norte amazônico estão mais próximas dos resultados dos sistemas africanos abertos correlatos, como os "graminosos" de Zâmbia (ver HOFFA *et al.*, 1999) e os "parqueados" da África do Sul (ver SHEA *et al.*, 1996; WARD *et al.*, 1996), do que com alguns vizinhos venezuelanos (p. ex. BILBAO & MEDINA, 1996). Embora os últimos possuam a mesma origem geral das savanas de Roraima, estes estão sujeitos a regimes diferenciados de clima, fogo, fertilidade do solo e outros aspectos que podem provocar diferenças na biomassa total (ver GOODLAND, 1966; COOPER, 1981; HUBER, 1987).

Devido aos grandes distanciamentos territoriais na Amazônia, cada localidade de savana representa uma eco-região totalmente distinta das demais. Além disto, dentro de cada paisagem de savana definida por conceitos macro-fitossociológicos existem sub-sistemas que, em geral, não são medidos individualmente em um levantamento comum. Entretanto, sofrem queimadas regulares e diferenciadas entre si. Isto é diferente do que normalmente é encontrado nos cálculos gerais de emissão (as médias por unidade de área tendem a ser extrapoladas de amostragens realizadas em grandes quadras pontuais em vez de distribuídas pelo conjunto de uma mesma paisagem). Além disto, a exclusão de frações da biomassa total (p. ex. árvores de grande porte) do levantamento geral de massa por unidade de área acaba retratando de forma errada o total de carbono presente e o fator de combustão (FC) geral para toda a biomassa que sofre a ação do fogo (ver Tabela anterior). Aqui eu enfatizo que as diferenças marcantes deste estudo, principalmente na composição média da concentração de carbono e do fator

de combustão, foi função da distribuição ponderada que esta amostragem levou ao considerar todos os componentes (sem exclusões).

Neste contexto de debates sobre responsabilidades globais de emissões de gases poluentes, o Brasil poderia rever os cálculos do inventário nacional para queimas em savanas através de abordagens regionais. Do ponto de vista metodológico seria muito mais vantajoso se utilizar deste recurso do que aproveitar um valor “default” nacional ou mesmo aqueles adotados pelo IPCC (1997) para a América Tropical.

### 5.3.2 Destino do Carbono

A reorganização (%) do carbono pré-existente, após a queima, foi função da composição estrutural de cada savana estudada. Quanto maior a presença proporcional de massa rasteira, maior a participação do carbono liberado para a atmosfera (p. ex. Sg com ¶70%). Ao contrário, se o sistema possui maior concentração arbórea, menor será sua participação nas emissões e, consequentemente, seu estoque na biomassa remanescente viva + morta será maior (p. ex. Tp com ¶60%).

Em geral, sistemas com grande quantidade de frações vegetais sensíveis ao fogo (capim e litter fino) possuem forte participação na liberação de carbono para a atmosfera, embora isto, por vezes, não signifique emissão líquida devido ao rápido ciclo que estas frações possuem. Para comparação, a TABELA 19 apresenta diferentes investigações realizadas em sistemas transformados de floresta primária em Roraima, com a identificação do destino do carbono (%) logo após as queimas prescritas de cada um.

TABELA 19 - Destino do carbono presente na pré-queima (%), exposto a queimadas em diferentes tipos de biomassa e usos da terra em Roraima.

| Usos da Terra | Liberado | Biomassa Remanescente (viva e/ou morta) | Carvão, Cinzas e Material Particulado | Fonte |
|---|---|---|---|---|
| Biomassa de Floresta Primária (remanescente de cultivo agrícola) - após 2ª queima | 30.0 | 68.4 | 1.6 | Fearnside *et al.* (sd) |
| Biomassa de Floresta Secundária (derivada de cultivo agrícola) - após 2ª queima | 66.0 | 31.8 | 2.2 | Fearnside *et al.* (sd) |
| Pastagem de 7 anos (derivada de floresta primária) - após 4ª queima | 20.6 | 73.3 | 6.1 | Barbosa & Fearnside (1996) |
| Savanas (média ponderada entre Sg, Sp e Tp) | 54.5 | 42.7 | 2.8 | Este Estudo |

Cada sistema acima listado representa um tipo de uso da terra, com comportamento do fogo e forma de distribuição do carbono distintos entre si. Para Roraima, a maioria do carbono liberado para a atmosfera pelas queimas em savanas (1,51 x $10^6$ t C / ano), considerando toda a área das três savanas (Sg, Sp e Tp) sem troca do uso da terra atingida pelo fogo, foi proveniente da biomassa rasteira (> 99% na média ponderada). A biomassa arbórea como aqui definida (Db $2cm), embora tenha tido uma participação variando entre 11-63% sobre a massa total de cada paisagem, pouco foi afetada pelo fogo (fator de combustão ponderado = 0,62%) e, acabou sendo a responsável por quase todo o estoque médio ponderado de carbono remanescente na pós-queima levando em consideração as três eco-regiões. Dos 45,5% do carbono remanescente e presente na biomassa (viva + morta + cinzas e partículas) nesta fase, em média 82,4% estavam contidos no componente arbóreo.

No ato da passagem do fogo em savanas, embora mais da metade do carbono total presente na pré-queima seja liberado para a atmosfera, o carbono emitido possui um grande potencial de retorno devido ao tipo de material vegetal

que sofreu combustão - a maioria frações de rápido crescimento fotossintético como por exemplo o capim (MENAUT & CESAR, 1979 citado por MENAUT *et al.*, 1991) ou mesmo rebentos de folhas novas (SARMIENTO, 1984). Entretanto, embora a maior parte do $CO_2$ liberado seja seqüestrado no período seguinte de crescimento, uma outra quantia pode permanecer de forma líquida na atmosfera por não ser reabsorvida pelos tecidos vegetais das árvores que viriam a se desenvolver sem a presença do fogo. Isto pode ser maximizado ou minimizado dependendo das condições climáticas (anos secos sequenciados podem acelerar este processo). Além disto, há um retardo na taxa de incremento vegetativo arbóreo em áreas com grande freqüência de queimas que, por sua vez, perpetuam a paisagem savanóide como a conhecemos atualmente (LAMOTTE, 1985; SAN JOSÉ & MONTES, 1997). Esta estabilidade paisagística proporcionada pelas freqüentes queimadas acabam mantendo a atual forma de partição do carbono quando da passagem do fogo.

Quanto ao carbono total bruto emitido na forma de gases para a atmosfera no ato da queimada, a figura de 842 a 1.486 kg C liberados por ano para cada hectare atingido em Roraima (Sg, Sp e Tp) é, em média, o dobro do anteriormente utilizado como média geral para as savanas da África Ocidental (540 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$) para estimativas de emissão de carbono e gases traço por MENAUT *et al.* (1991). Entretanto, é menor que os inferidos por KAUFFMAN *et al.* (1994) para diferentes tipos de savanas no Brasil Central, com perdas brutas entre 1.550-3.180 kg $C.ha^{-1}$ no ato da queimada. Da mesma forma, os valores aqui calculados ficam abaixo dos estimados no trabalho de CASTRO & KAUFFMAN (1998) com perdas instantâneas acima de 2.500 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$. Todas as variações são fruto de interpretações realizadas em diferentes paisagens e a forma com que cada uma foi avaliada. Entretanto, todas sugerem elevadas emissões instantâneas de carbono para a atmosfera devido às extensas áreas que são atingidas por fogo em regiões de savanas por todo o globo.

Outro importante fator na análise é a elevada quantia relativa de carbono na forma de “cinzas e partículas” que se perpetuam nos sistemas como estoque de longo prazo (material particulado à base de carbono). DELMAS (1982) encontrou valores variando de 66-85 kg $C.ha^{-1}$ nas cinzas de duas áreas de savana

queimadas na Costa do Marfim, acarretando valores pouco superiores aos determinados neste estudo (55-58 kg C.ha$^{-1}$). Embora com quase o dobro da quantidade de biomassa média presente por unidade de área por Delmas, o conteúdo de carbono nas cinzas da Costa do Marfim (8-15% contra 15-17% para Roraima) fez com os resultados fossem mais próximos. Em contraste, MENAUT *et al.* (1991) determinaram valores muito abaixo dos aqui inferidos em uma avaliação de queimadas também na Costa do Marfim (3 kg C.ha$^{-1}$). Por outro lado, as concentrações e o total de carbono contidos nas cinzas de 4 ambientes de savana no Brasil Central (22-53% C ou 80-1130 kg C.ha$^{-1}$) estudados por KAUFFMAN *et al.* (1994) são várias vezes superiores aos estudos acima listados. Método diferenciado de separação das amostras pós-queima, além da identificação do material residual contaminante, como solo ou outras frações de pequena estrutura mas diferentes de "cinzas e partículas", acabam provocando estas distorções quando da comparação de diferentes procedimentos de limpeza e descontaminação do material.

Segundo VOGL (1974), citado por SEILER & CRUTZEN (1980), o material particulado nas savanas é formado mais pela queima do capim do que pela combustão de elementos mais resistentes como troncos, galhos ou gravetos. Isto acarreta uma maior quantidade de material particulado nas zonas de queima de savanas do que de florestas (ALLEN & MIGUEL, 1995). Em Roraima, eu tenho observado que o vento e as primeiras chuvas levam uma parte não contabilizada deste material para dentro dos cursos de água mais próximos, principalmente as veredas de buritizais (*Mauritia flexuosa*). É uma fuligem de carvão que com o passar do tempo, acaba sendo estocada primariamente nos sedimentos fluviais (KUHLBUSCH & CRUTZEN, 1995; KUHLBUSCH *et al.*, 1996).

Mesmo representando quantias absolutas inferiores em relação a maioria dos estudos acima mencionados, isso indica que a freqüência de queimas pode estar fixando carbono de longo prazo na forma de material particulado como destacado por CANUT *et al.* (1996). O atual estudo estima que a produção deste componente pelas queimas anuais dos três sistemas avaliados alcançou 0,078 x $10^6$ t C / ano ao longo da década de 1990 (2,8% do carbono atingido ou 4,8% do carbono efetivamente transformado : liberado + longo prazo). Este valor é de difícil

comparação devido aos diferentes métodos de avaliação dos demais autores. Por exemplo, HURST *et al.* (1994b) determinaram que de todo o carbono queimado em uma experimentação nas savanas australianas, 3,7% estavam presentes nas cinzas. Estes valores são muito variáveis pois vão depender basicamente da umidade do material que entrou em combustão. Queimas ao início da estação seca tendem a produzir valores baixos devido à fase de combustão completa (flaming) ser menos intensa do que dos fogos produzidos no meio da estação seca. Neste estudo, eu me aproveitei dos intervalos mais secos para produzir o valor supra citado muito embora eu também tenha feito observações no início e no final da estação seca para poder entender como funciona a dinâmica de queima nestes ambientes.

Da mesma forma que outros autores, eu também observei que uma parte do material particulado formado pelos fogos locais é transportado por nuvens de fumaça e vento. O carbono contido nestes aerosois, por vezes é contabilizado de forma errada porque entra nos cálculos apenas como carbono liberado na forma de gás em vez de material particulado (ver exemplos de distribuição do carbono atingido em LOBERT *et al.*, 1991 e CACHIER *et al.*, 1995). Ambos possuem atributos diferentes sobre a físico-química atmosférica. Estes aerosois de longa vida residem por tempo variável na atmosfera e possuem uma reação muito ativa na dispersão da radiação solar e na microfísica das nuvens (CRUTZEN & ANDREAE, 1990), podendo acarretar mudanças no balanço de radiação e no ciclo hidrológico das regiões tropicais (ANDREAE *et al.*, 1998). Estas partículas estão diretamente relacionadas com o “forçamento radiativo” negativo e podem implicar em um decréscimo significativo de temperatura (HOUGHTON *et al.*, 1995a; REID & HOBBS, 1998).

Em complementação aos estabelecimentos acima citados, vale destacar que no caso de savanas a entrada líquida anual dos elementos traço na atmosfera possui um efeito mais acentuado sobre as mudanças globais devido ao maior potencial de aquecimento climático que cada um deles possui em relação ao $CO_2$ (HOUGHTON *et al.*, 1992; WATSON *et al.*, 1996). Com isto, é possível sugerir que, mantido o atual quadro de queimas e as diferentes condições climáticas anuais

ao longo do tempo, hajam oscilações na biomassa das savanas que acabem permitindo uma redução líquida de carbono pelo acentuamento das proporções entre os componentes arbóreos e rasteiros.

## 5.4 Conclusões

(1) A maior parte da biomassa eliminada pelo fogo nos sistemas estudados em Roraima é do componente rasteiro (gramíneas, ervas, folhas secas, etc.) que, por sua vez, é o responsável pela quase completa liberação bruta de carbono para a atmosfera;

(2) Biomassa arbórea possui baixo fator de combustão e, portanto, pouca liberação de carbono líquido para a atmosfera com a queimada;

(3) Em termos quantitativos, a biomassa das savanas do norte / nordeste de Roraima esta mais próxima das encontradas em algumas localidades africanas do que das percebidas no Brasil Central ou mesmo as centro-venezuelanas;

(4) "Cinzas e partículas" produzidos pela combustão do material vegetal presente nas savanas são um reservatório de longo prazo de grande importância nos cálculos gerais de balanço de carbono;

(5) Utilização de valores regionalizados de partição (destino) do carbono para os cálculos de emissão de gases do efeito estufa são mais vantajosos metodologicamente do que o uso de resultados “default”.

# Capítulo 6
# Mortalidade e Recrutamento do Estrato Arbóreo Associado à Dinâmica da Biomassa e do Carbono Total Acima do Solo

Mortalidade e recrutamento do estrato arbóreo são subcomponentes da dinâmica da biomassa acima do solo descrita no capítulo anterior. Juntamente com a decomposição do material lenhoso (necromassa), eles fazem parte do entendimento do ciclo do carbono necessário para a formulação do modelo de emissão deste elemento na forma de gases do efeito estufa pelas savanas locais. Este tipo de cálculo permite mapear a taxa de reposição (turnover rate) da biomassa ou do carbono estocado no material lenhoso acima do solo ao longo de um período qualquer. Além disto, quando associado com a biomassa rasteira, os cálculos são expandidos para uma análise da dinâmica do estoque total de carbono acima do solo em savanas.

Para os sistemas florestais da Amazônia brasileira, este tipo de discussão tomou maior impulso a partir dos trabalhos de avaliação de mortalidade e recrutamento de árvores de RANKIN-DE-MERONA *et al.* (1990) e JARDIM (1990) na área do Distrito Agropecuário da SUFRAMA, próximo à Manaus. Estas investigações integram as discussões mantidas sobre as taxas de reposição em florestas tropicais por PHILLIPS & GENTRY (1994), SHEIL (1995), KELLER *et al.* (1996) e PHILLIPS (1996) e, alcançam os recentes artigos de PHILLIPS *et al.* (1998), TIAN *et al.* (1998) e HOUGHTON *et al.* (2000). Estes últimos analisando a idéia de estado de equilíbrio e, a hipótese de taxa positiva de seqüestro de carbono associado a períodos climáticos favoráveis (absorção de $CO_2$ por florestas tropicais).

Em sistemas de savanas sul-americanos, esta associação ganhou maior volume de informação a partir de algumas investigações realizadas, principalmente na Venezuela e no Brasil, sobre produção/produtividade de matéria

orgânica com ou sem associação ao fogo. As de destaque são as de SAN JOSÉ & FARIÑAS (1983 ; 1991), sobre uma longa série de mortalidade e sobrevivência de indivíduos lenhosos em áreas sob exclusão de fogo na região de Calabozo (Venezuela). Passam também pelos estudos de MOREIRA (1992 ; 1996 ; sd) sobre a dinâmica da vegetação arbórea protegida de queimadas e, de SATO & MIRANDA (1996) e SILVA *et al.* (1996) sobre mortalidade arbórea por fogo. Todos realizados nos cerrados do Brasil Central. Embora primariamente desconectadas do importante papel da produtividade em savanas na quantificação dos efeitos das futuras trocas da concentração do $CO_2$ global (SOLBRIG, 1996), estas avaliações foram os primeiros passos no sentido de caracterizar estas paisagens como atores ativos no ciclo do carbono culminando no recente artigo de SAN JOSÉ *et al.* (1998) na continuidade dos trabalhos de Calabozo, Venezuela. Este último aborda uma seqüência de mais de 25 anos de proteção de uma savana tropical e quantifica sua importância no estoque regional e global de carbono.

Com estas informações em mente, este capítulo tem por objetivo quantificar e utilizar a mortalidade e o recrutamento dos indivíduos arbóreos presentes em duas áreas de savanas de Roraima (com e sem fogo) para ajudar a modelar o comportamento do carbono total acima do solo contido na biomassa viva/morta (arbórea + rasteira). Isto foi feito associando as variações climáticas anuais em uma série temporal de 100 anos.

Para entender este balanço regional, eu utilizei como referência o atual cenário com que eu trabalhei a média de área queimada anteriormente descrita (18% anos secos, 21% anos úmidos e 61% anos normais). Além disto, eu utilizei mais dois cenários alternativos para testar a sensitividade do modelo pelo aumento (Cenário 1) e pela redução (Cenário 2) de área queimada. Eu utilizei a variação de área queimada para discutir a sensitividade do modelo porque este parâmetro é o que rege a quantidade de massa que irá sofrer a ação do fogo. A grosso modo, o intervalo entre o resultado destes dois cenários pode representar (1) as oscilações de uma política ambiental para a região que se traduza na redução das áreas queimadas ou (2) em cenários onde o aumento da temperatura global pode estar associado ao aumento do número de anos secos ao longo do tempo e, portanto, no

aumento conjugado da área queimada anualmente.

## 6.1 Metodologia

### 6.1.1 Mortalidade e Recrutamento

Para o acompanhamento da dinâmica de mortalidade, aqui definida como o número de árvores e sua biomassa e/ou carbono correspondente, que incrementam positiva (+) ou negativamente (-) por unidade de tempo, foram estabelecidas quatro quadras fixas de área individual de 6.400 $m^2$ (80m x 80m), cada uma, em fevereiro de 1995 : (1) duas no Monte Cristo - MC (1,28 ha) e (2) duas no Água Boa - AB (1,28 ha). Ambas estão localizadas dentro dos Campos Experimentais da EMBRAPA-CPAF/RR sob a mesma denominação e, situados na paisagem Sg (gramíneo-lenhosa). As áreas escolhidas possuiam uma densidade arbórea média inicial entre 40-60 $ind.ha^{-1}$ e estavam sem queimar, coincidentemente, há dois anos. Eu mantive as duas primeiras quadras (MC) isoladas do fogo e, as duas últimas (AB), eu mantive o sistema de queimas reguladas pelos auxiliares técnicos da EMBRAPA. Isto serviu para diferenciar taxas de mortalidade em áreas protegidas e não-protegidas de fogos. Embora este desenho experimental possa estar carregado de uma bagagem de erros vinculados à “pseudoreplicação” (ver HURLBERT, 1984) onde, por exemplo, os resultados obtidos estejam mais afetos à localização dos ambientes amostrais (p. ex. tipo de solo) do que aos tratamentos (com e sem fogo), este foi o meio operacional de maior viabilidade de execução dentro da proposta geral do estudo para estimativa da emissão de gases do efeito estufa.

A primeira etapa desta atividade consistiu em mapear e etiquetar todas as árvores com Db $ 2 cm dentro de cada quadra e, proceder à medição de todas as variáveis alométricas anteriormente descritas (Db, Dc e Ht). Em seguida, as quatro quadras sofreram uma queima induzida (fevereiro de 1995 - pico do período seco) no intuito de igualar as condições iniciais de todas. Elas foram remedidas ao final do período chuvoso do mesmo ano (agosto de 1995) como forma de

estabelecer um período regular de medição. A partir deste momento e, sempre ao final do período chuvoso dos anos seguintes (até agosto de 1998), todas as árvores foram (1) remedidas, (2) anotadas as que morreram (em pé ou tombada), (3) anotadas as que desapareceram (fogo e/ou decomposição natural) e (4) identificadas as arvoretas que entraram para a classe das árvores (recrutamento).

Aproveitando a relação alométrica e as concentrações de carbono por grupo de espécie apresentada no Capítulo 5, eu determinei o quanto foi perdido ou adicionado (biomassa e carbono) ao sistema ao longo do tempo. Para os cálculos da taxa de mortalidade de individuos eu adotei o modelo logarítimico empregado por LIEBERMAN *et al.*, 1985 (descrito abaixo) e em diversas revisões gerais como as de PHILLIPS & GENTRY (1994) e PHILLIPS (1996).

$$k_m = \frac{(\ln Pt - \ln Po)}{\Delta t}$$

Onde:

$k_m$ = taxa de mortalidade : constante que descreve a variação de incremento (+/-) geométrico em um dado período de tempo.

Po = população inicial das árvores;

Pt = população das árvores em um dado tempo 't';

$\Delta t$ = intervalo de tempo em que a população foi modificada;

Para os cálculos da variabilidade (-/+) de biomassa/carbono eu adotei a mesma base matemática anterior (logarítimica) e, que também foi empregada no trabalho de SAN JOSÉ *et al.* (1998) sob a denominação de taxa média anual “relativa” (TMAR). Esta taxa ajuda a entender o aporte líquido (-/+) de carbono/biomassa nas duas áreas estudadas.

$$k_{cb} = \frac{(\ln CBt - \ln CBo)}{\Delta t}$$

Onde:

$k_{cb}$= taxa anual de incremento (-/+) médio de carbono/biomassa;

CBo = estoque de carbono/biomassa total em um dado momento inicial;

CBt = estoque de carbono/biomassa total em um dado momento final;

Δt = intervalo de tempo entre a modificação dos estoques.

### 6.1.2 Decomposição (Densidade e Volume)

A decomposição da madeira morta do estrato arbóreo é um apêndice do trabalho de mortalidade, pois reflete a velocidade com que o carbono estocado no tecido morto se transfere para outros compartimentos (p. ex. atmosfera ou solo). Neste estudo, eu adotei como definição para decomposição o conjunto das perdas de biomassa através (1) do fogo, (2) da fragmentação por ação microbiana (oxidação envolvendo respiração), (3) por insetos (como cupins) e (4) por lixiviação (arraste de partículas). Isto permite a obtenção de uma ***taxa de decomposição "composta"*** ou ***taxa de "perdas gerais"***.

Embora outras regiões tropicais e temperadas possuam estudos mais apurados sobre a velocidade de decomposição da matéria morta, a quase totalidade se reporta aos sistemas florestais. No caso da Amazônia brasileira, três recentes trabalhos (MARTIUS, 1997; CHAMBERS, 1998; SUMMERS, 1998; CHAMBERS *et al.,* 2000) vêm discutindo a adaptabilidade de dados florestais para os cálculos de emissão de gases por decomposição para a atmosfera. Para as savanas amazônicas brasileiras, o problema tem despertado pouco interesse muito embora tenha sido alvo de abordagens semelhantes em regiões próximas, principalmente na Venezuela (ver exemplos em SAN JOSÉ & MEDINA, 1977; SARMIENTO & VERA, 1979; SAN JOSÉ *et al.*, 1982).

A decomposição da necromassa nas três paisagens de savanas estudadas foi determinada através da amostragem de 42 árvores distribuídas pelos três grupos de espécies : (1) "Caimbé" (16), (2) "Mirixi" (18) e (3) "Outros" (8). Todos com variados diâmetros de base e histórico conhecido : 13 tombadas em outubro/1993 e 29 entre dezembro/1996 e janeiro/1997, dentro dos campos

experimentais da EMBRAPA/CPAF-Roraima (Monte Cristo e Água Boa). A taxa de decomposição "composta" do material lenhoso foi medida sob a mesma base logarítimica aplicada para a mortalidade dos indivíduos. Esta base foi sugerida inicialmente por OLSON (1963) e vem sendo aplicada em diferentes trabalhos realizados em diversas partes do mundo. Os valores foram compostos a partir das perdas (1) de densidade básica (peso seco em “g” dividido pelo volume saturado em “$cm^3$") e (2) do volume lenhoso de cada árvore amostrada (fragmentação natural ou fogo). Todas as taxas foram determinadas para dois grupos de peças de madeira: (1) "em" contato com o solo e (2) "sem" contato com o solo, presumindo que em ambos os casos a decomposição se dá de forma e velocidade diferenciada. A taxa final foi o resultado de uma ponderação entre os dois casos, com o segundo (sem contato) podendo também ser adaptado para as árvores mortas em pé.

#### 6.1.2.1 Biomassa Inicial

Eu adotei a mesma regressão (Modelo 4) indicada no Capítulo 5 para a estimativa da fitomassa lenhosa inicial de cada uma das árvores amostradas, eliminando do resultado final a porcentagem da biomassa foliar segundo a classe de diâmetro de base a que cada indivíduo pertencia. Este procedimento foi importante porque as folhas das árvores que morrem, se tornam secas e caem quase que totalmente em menos de 1-2 meses iniciando rapidamente seu processo de decomposição (< 1 ano). Na mesma investida, eu reconheci cada indivíduo dentro de seu grupo de espécie e classe de diâmetro de base (Db) (ver Capítulo 5). Na seqüência, eu distribui a biomassa lenhosa de cada indivíduo em três classes de diâmetro interno de peças : (1) ***gravetos*** (todas as peças com diâmetro # 5 cm), (2) ***galhos*** (peças com 5 cm < d # 10 cm) e (3) ***troncos*** (d > 10 cm). Presumindo que a biomassa inicial destas partições diamétricas era proporcional ao volume e/ou a biomassa de peças “em” e “sem” contato com o solo ao longo do tempo, eu percorri os seguintes passos :

a) estimei a metragem linear de cada uma das frações de madeira presentes

em cada amostra por (1) classe diamétrica e (2) grupo de contato com o solo (“em” e “sem”);

b) padronizei uma média diamétrica intra-classe para cada classe de madeira : (1) 0,025m para gravetos, (2) 0,075m para galhos e (3) 0,15m para troncos;

c) estimei o volume sólido (cilíndrico)[7] de cada classe diamétrica (“em” e “sem” contato) em cada etapa de medição (anual) usando a seguinte fórmula :

$$Vc = \frac{\pi \times (D)^2 \times C}{4}$$

Onde :

Vc = volume de cada classe ($m^3$);

D = diâmetro padrão adotado para cada classe (m);

C = comprimento total das peças de cada classe diamétrica (m);

Com a porcentagem de peças por classe de contato com o solo, eu distribui a biomassa de cada árvore dentro de suas respectivas classes diamétricas em função de seu contato. Este procedimento foi repetido anualmente para todas as árvores no sentido de manter o mesmo padrão de avaliação e comparação entre velocidade de desaparecimento e a proporção de biomassa “em” e “sem” contato com o solo. Este método permitiu a visualização do desaparecimento do material de cada árvore (ausência ou presença de biomassa) e seu deslocamento da classe “sem” para a “em” contato com o solo.

Para calcular a massa perdida internamente (ação microbiana, insetos, etc.), eu investi esforços na (1) avaliação anual da ***densidade básica*** por classe diamétrica e (2) na medição da perda de ***volume*** interno de cada árvore através de

---

[7] Neste caso, em particular, foi desnecessário a introdução de uma fator de forma (FF) pelo simples fato de que este procedimento foi apenas para distribuir, proporcionalmente, a fitomassa lenhosa previamente determinada para cada indivíduo amostrado (ver Modelo 4 ; Capítulo 5). Assim sendo, eu assumi que o erro seria o mesmo para as três classes de diâmetro.

amostragens anuais na forma de “discos amostrais” que eram retirados de cada indivíduo como descrito abaixo.

6.1.2.2 Densidade Básica

Para avaliar a perda de densidade de cada classe diamétrica eu procedi, primeiramente, à amostragem da densidade básica inicial (média) de todas as classes de diâmetro presentes dentro dos grupos de espécies pré-determinados. Para tanto, eu aproveitei quase todo o material da amostragem destrutiva da quantificação da biomassa (Capítulo 5), somados a 8 indivíduos extras que haviam sido tombados anteriormente como teste. O **total de amostras foi de 211**, distribuídas por todas as classes de diâmetro (104 para < 5cm ; 65 de 5-10cm ; 42 para > 10cm), pelos três ambientes de savana (74 em Sg ; 71 em Sp ; 66 em Tp) e grupos de espécies (69 para Mirixi ; 67 para Caimbé ; 75 para Outros). A amostragem se deu a partir da coleta de 1 a 3 “discos amostrais” obtidos através de serra manual (para não danificar ou contaminar a amostra com o óleo lubrificante da moto-serra), seguindo-se os procedimentos abaixo:

a) Remoção do material inerte - areia, argila ou material fracionado que por ventura estivesse anexado a cada disco amostral;

b) Secagem (± 80$^{o}$C) e determinação do peso seco por unidade amostral;

c) Saturação das amostras por imersão em água durante 4-5 dias (fechadas em sacos de pano para não haver perda de material de menor porte) para “aproximar” as condições de saturamento natural.;

d) Determinação do volume através do deslocamento de água (Princípio de Arquimedes) que a peça saturada promove quando mergulhada em um recipiente padrão (descontado o volume do saco de pano e do arame que são imersos juntamente com a peça);

e) Determinação da densidade básica por unidade amostral pela divisão do peso seco pelo volume saturado ($g.cm^{-3}$).

Os passos acima descritos foram adaptados das definições contidas em TRUGILHO *et al.* (1989 : p. 165) e FEARNSIDE (1997b : p. 61), definindo forma e método de determinação da densidade básica para amostras de madeira que necessitam aproximar seu volume saturado das condições naturais, no sentido de se obter um valor padrão comparativo com as demais literaturas que se reportam a este tipo de cálculo.

Determinada a densidade básica inicial para os elementos vivos em cada estrutura diamétrica e por grupo de espécie, eu mantive o mesmo procedimento para a determinação da densidade básica para os anos seguintes ao trabalho de campo, apenas alterando a forma de coleta dos “discos amostrais”. Esta última etapa do estudo foi realizada da seguinte maneira:

a) ***Para as peças com diâmetro inferior a 10 cm (galhos e gravetos)*** - divisão do esqueleto da copa da árvore em um, dois ou três raios variando sempre em função do tamanho da árvore morta. Em cada centro de raio eu retirei uma amostra “em” ou “sem” contato com o solo (a localização dos raios variou em função da data da coleta para não 'viciar' a amostragem ) (FIGURA 16);

b) ***Para peças com diâmetro superior a 10 cm (troncos)*** - dependendo do comprimento da peça, eu a dividia imaginariamente em uma, duas ou três partes, de onde eram retiradas os discos com auxílio de uma serra manual. Eventualmente, eu amostrava as peças de alguns galhos desta mesma forma porque funcionavam como caule principal do indivíduo.

#### 6.1.2.3 Volume

Para completar a avaliação das perdas de biomassa por unidade de tempo, eu aproveitei os “discos amostrais” (antes da saturação) para determinar a

porcentagem média de perda física (em volume) que cada indivíduo sofreu ao longo de cada período de coleta. Para tanto, eu desenhei todas as peças (incluindo os limites de casca, cerne e alburno) indicando as regiões que eventualmente estariam faltando e/ou presentes e, em seguida, eu escaneei todos os desenhos para que fosse possível fazer a contabilização percentual do número de pixels que cada área marcada representava (FIGURA 17).

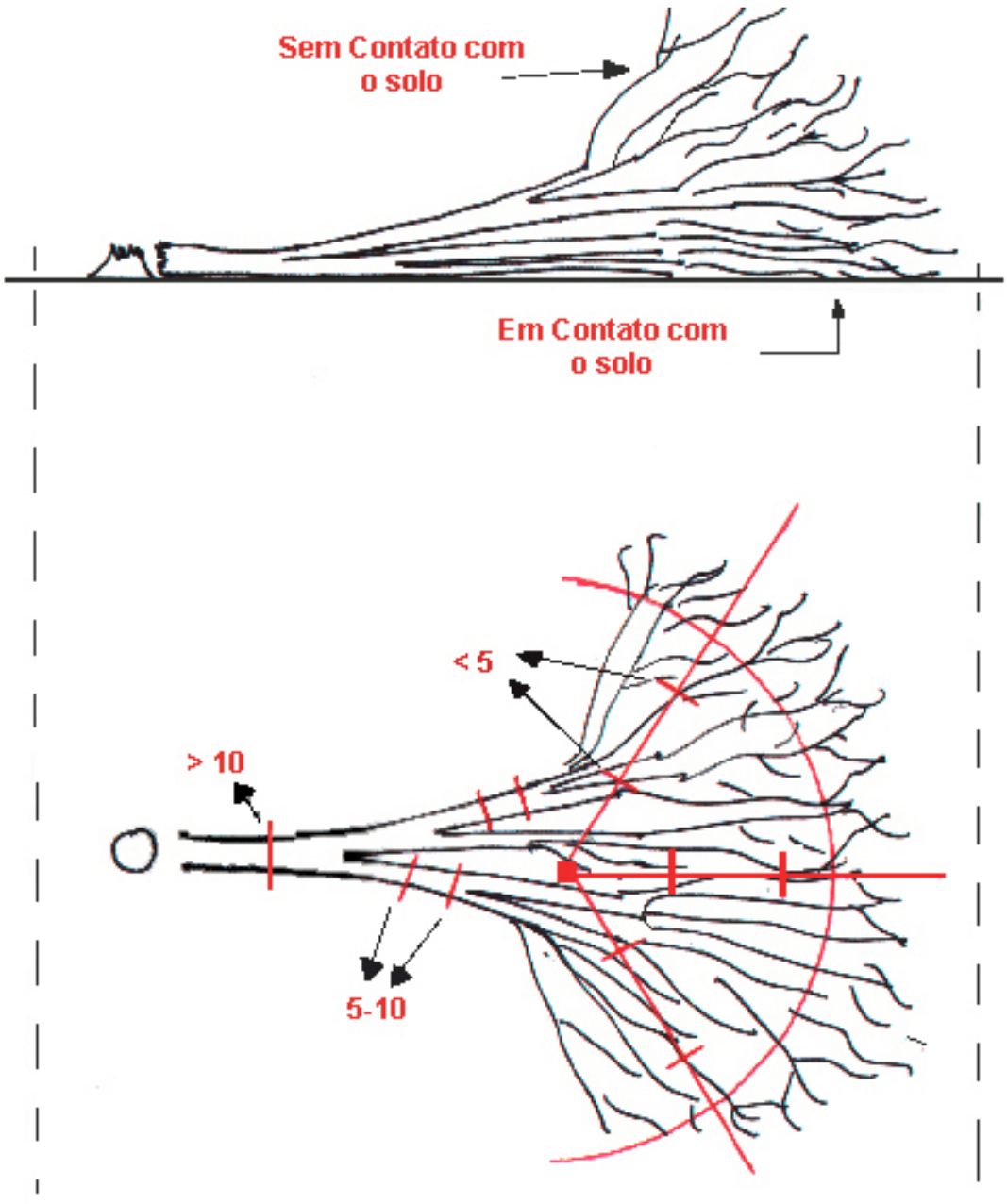



FIGURA 16 - Perfil esquemático de uma árvore com a parte lenhosa "sem" e "em" contato com o solo e a localização dos raios de amostragem.

FIGURA 17 - (A) Peça em fase de coleta no campo (Ano 3 ; em contato ; 5-10 cm) e (B) comparação das peças (discos amostrais) que passaram pelo processo de desenho e escaneamento (Ano 0 e 4, em contato ; > 10 cm).

6.1.2.4 Metodologia de Cálculo

Concluídas as atividades anteriores, eu moí todos os “discos amostrais” (inicial e sequencial) sob peneira de “mesh 30" para proceder a análise da concentração de carbono (como no Capítulo 5) e associar este resultado com a dinâmica deste elemento através do tempo. Com os parâmetros identificados, eu tabelei todos os indivíduos por grupo de espécie e determinei a perda de biomassa e carbono (individual, anual e total) para cada grupo e classe diamétrica.

Para montar o modelo de dinâmica de carbono por unidade paisagística (balanço regional), eu estabeleci um período de 100 anos e previ a manutenção do atual cenário de distribuição de anos secos, úmidos e normais que eu havia determinado anteriormente : secos - 18%, úmidos - 21% e normais - 61% (ver TABELA 20 para todos os parâmetros de cálculo). Este intervalo de tempo foi oportunizado por causa da utilização dos potenciais de aquecimento global - GWP (ver Capítulo 7) dentro das estimativas de emissão regional. Além disto, o uso de períodos mais longos de simulação (1.000 anos por exemplo), fatalmente levaria a taxas de incremento e condições climáticas diferentes das usadas nesta investigação e, por isso, estariam sujeitas a presunções pouco confiáveis do ponto de vista da inserção no modelo.

Todas as taxas de incremento de biomassa (rasteira e arbórea) de Sg foram calculadas pelas atividades de campo. Para Sp e Tp, eu assumi que as taxas de incremento seriam iguais, mesmo entendendo que isto implica em um erro não controlado devido a maior ou menor quantidade de massa presente em cada sistema que afeta a dinâmica dos ambientes analisados. Entretanto, isto foi necessário devido a falta de amostragens de mortalidade e recrutamento em Sp e Tp que pudessem resultar em valores confiáveis ao modelo. A inserção dos anos e suas respectivas taxas de incremento (-/+) ao longo do período modelado foi sorteada por uma “Tabela de Números Randômicos” (WONNACOTT & WONNACOTT, 1977 : p. 605) para evitar tendenciosidades ou sistematizações errôneas quando da combinação dos distúrbios antrópicos e naturais.

TABELA 20 - Parâmetros de cálculo para dinâmica do carbono acima do solo em função do tipo de savana e do ano climático.

| Parâmetros de Cálculo | **Sg** Gramíneo-lenhosa | | | **Sp** Parque | | | **Tp** Estépica-parque | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) Área Total Exposta (ha) | 1358642 | | | 1055323 | | | 817247 | | |
| (2) Carbono Exposto (kg/ha) | | | | | | | | | |
| (2.1) Inicial | | | | | | | | | |
| Rasteiro Vivo | 906 | | | 1459 | | | 1032 | | |
| Rasteiro Morto | 116 | | | 189 | | | 159 | | |
| Arbóreo Vivo | 162 | | | 831 | | | 1491 | | |
| Arbóreo Morto | 9 | | | 55 | | | 80 | | |
| (2.2) Capacidade Mínima Rasteira c/ Máxima Arbórea (1) | | | | | | | | | |
| Rasteiro Vivo | 801 | | | 1242 | | | 684 | | |
| Rasteiro Morto | 93 | | | 148 | | | 63 | | |
| Arbóreo Vivo | 75854 | | | 75854 | | | 75854 | | |
| Arbóreo Morto | 4820 | | | 4820 | | | 4820 | | |
| (2.3) Capacidade Máxima Rasteira c/ Mínima Arbórea | | | | | | | | | |
| Rasteiro Vivo | 1010 | | | 1675 | | | 1379 | | |
| Rasteiro Morto | 138 | | | 231 | | | 256 | | |
| Arbóreo Vivo | 1.8 | | | 6.7 | | | 38.4 | | |
| Arbóreo Morto | 0.1 | | | 4.7 | | | 1.0 | | |
| (3) Ano Climático | Normal | Úmido | Seco | Normal | Úmido | Seco | Normal | Úmido | Seco |
| (3.1) Área Queimada Anual | | | | | | | | | |
| Não-queimada (%) | 62.5 | 68.3 | 37.7 | 71.5 | 77.6 | 33.9 | 46.4 | 46.4 | 24.1 |
| Queimada (%) | 37.5 | 31.7 | 62.3 | 28.5 | 22.4 | 66.1 | 53.6 | 53.6 | 75.9 |
| 1 vez (%) | 98.5 | 98.8 | 99.7 | 98.4 | 98.4 | 99.6 | 96.1 | 96.8 | 99.6 |
| 2 vezes (%) | 1.5 | 1.2 | 0.3 | 1.6 | 1.6 | 0.4 | 3.9 | 3.2 | 0.4 |
| (3.2) Destino do Carbono (1 vez) | | | | | | | | | |
| Liberado Atmosfera (%) | 70.7 | 65.0 | 75.0 | 58.7 | 50.8 | 58.5 | 39.2 | 33.6 | 31.7 |
| Biomassa Viva (%) | 21.6 | 29.0 | 17.9 | 35.8 | 42.5 | 35.5 | 55.3 | 60.5 | 60.5 |
| Biomassa Morta (%) | 3.1 | 5.2 | 2.1 | 3.4 | 6.3 | 3.3 | 3.4 | 5.7 | 5.7 |
| Cinzas/Material Particulado (%) | 4.6 | 0.8 | 5.0 | 2.2 | 0.4 | 2.7 | 2.1 | 0.3 | 2.2 |
| (3.3) Destino do Carbono (2 vezes) | | | | | | | | | |
| Liberado Atmosfera (%) | 70.2 | 63.2 | 77.2 | 56.0 | 50.4 | 61.6 | 34.8 | 31.3 | 38.3 |
| Biomassa Viva (%) | 22.9 | 30.5 | 16.3 | 37.9 | 42.8 | 32.9 | 58.8 | 62.5 | 54.6 |
| Biomassa Morta (%) | 3.5 | 5.5 | 1.9 | 4.3 | 6.4 | 3.0 | 4.9 | 5.9 | 5.1 |
| Cinzas/Material Particulado (%) | 3.5 | 0.8 | 4.6 | 1.8 | 0.4 | 2.5 | 1.5 | 0.3 | 2.0 |

CONTINUA ...

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.4 Taxa Incremento Bio. Arbórea | | | | | | | | | |
| Área não-queimada | 0.045 | 0.049 | 0.006 | 0.045 | 0.049 | 0.006 | 0.045 | 0.049 | 0.006 |
| Área queimada 1 vez (pós-descanso) | -0.085 | -0.057 | -0.114 | -0.094 | -0.063 | -0.125 | -0.077 | -0.051 | -0.102 |
| Área queimada 1 vez (frequente) | -0.025 | -0.022 | -0.027 | -0.027 | -0.024 | -0.030 | -0.022 | -0.020 | -0.024 |
| Área queimada + 1 vez (pós-descanso) | -0.094 | -0.065 | -0.122 | -0.103 | -0.072 | -0.134 | -0.084 | -0.059 | -0.110 |
| Área queimada + 1 vez (frequente) | -0.033 | -0.023 | -0.035 | -0.036 | -0.026 | -0.039 | -0.030 | -0.021 | -0.032 |
| 3.5 Taxa Incremento Bio. Rasteira | | | | | | | | | |
| Área não-queimada | 0.004 | 0.009 | 0.002 | 0.004 | 0.009 | 0.002 | 0.004 | 0.009 | 0.002 |
| Área queimada 1 vez (pós-descanso) | -0.006 | -0.003 | -0.011 | -0.006 | -0.003 | -0.011 | -0.006 | -0.003 | -0.011 |
| Área queimada 1 vez (frequente) | 0.000 | 0.003 | -0.006 | 0.000 | 0.003 | -0.006 | 0.000 | 0.003 | -0.006 |
| Área queimada + 1 vez (pós-descanso) | -0.011 | -0.006 | -0.023 | -0.011 | -0.006 | -0.023 | -0.011 | -0.006 | -0.023 |
| Área queimada + 1 vez (frequente) | -0.009 | 0.002 | -0.006 | -0.009 | 0.002 | -0.006 | -0.009 | 0.002 | -0.006 |
| 3.6 Taxa de incremento da bio. remanescente da 1ª queimada para a 2ª queimada | 1.375 | 1.412 | 1.337 | 1.375 | 1.412 | 1.337 | 1.375 | 1.412 | 1.337 |

(1) (a) Intervalos entre os valores mínimos e máximos para carbono exposto na biomassa rasteira foi obtido pelo cálculo do erro padrão da média e, posterior intervalo de confiança, de cada uma das amostragens, por tipo de biomassa/carbono dentro de cada unidade paisagística.
(b) Valores máximo p/ carbono exposto na biomassa arbórea obtido de BARBOSA & FEARNSIDE (1999) para categorias arbóreas de savanas em Roraima (SN e SO).

O modelo apresentado é uma tentativa de representação **estocástica**[8] (através da abordagem diferenciada de anos), utilizando condicionantes **determinísticos**[9]. A idéia geral do modelo é a de gerar valores através do sistema de **"estado e transição"** (ver PIVELLO & COUTINHO, 1996) e, com isso, obter resultados anuais de carbono exposto, por unidade de área em cada eco-paisagem, sempre em função da condicionante climática. A partir desta interpretação, os valores são alterados dentro do modelo em função das porcentagens de área queimada no ano anterior e, que serão ou não, queimadas nos anos seguintes. Todas as taxas de incremento são inseridas no modelo a partir de interpretações sequenciais que montam novas condições como, por exemplo, se a área queima pela primeira ou segunda vez no ano, ou mesmo se ela vem participando de queimadas seguidas ao longo do tempo. Isto permite distinguir e dar

(8) Ou probabilístico - inclui efeitos da variabiliadade randômica em um ou mais fatores.

(9) Pressupõe condicionantes fixas (sem variação randômica).

valor diferenciado para áreas de comportamento diferente em vez de interpretar toda a área como um bloco sem variação e de mesmo comportamento.

A base conceitual de “estado e transição” que o modelo segue, incorpora os conceitos dos modelos de “crescimento populacional dependente da densidade” para tentar montar um gradiente não-linear sucessional dentro de cada ambiente paisagístico. Ele trabalha com os limites máximo e mínimo de carbono exposto que os diferentes grupos de biomassa podem alcançar. Para tanto, eu aproveitei as taxas anuais individuais como um modelo exponencial instantâneo e, ao mesmo tempo, estipulei os tetos (mínimos e máximos) como nos modelos logísticos que se utilizam do conceito de capacidade de suporte (K). O teto máximo admite o resultado final de uma sucessão quando então a savana se transforma em um sistema arborizado (tipo cerradão do Brasil Central ou as áreas de contato savana-floresta/SN e floresta-savana/SO listados para Roraima). O teto mínimo é o resultado das menores avaliações de biomassa presente em cada eco-paisagem estudada dentro dos sub-sistemas “ralo” de cada um. A seqüência dos procedimentos segue os passos abaixo descritos :

(1) Distribuição da área total das savanas Sg, Sp e Tp, sem a troca do uso da terra, que ficam expostas anualmente ao fogo nestas paisagens;

(2) Inserção dos parâmetros iniciais médios de massa de carbono exposto entre os componentes rasteiro e arbóreo, ambos para as situações de vivo e morto;

(3) Determinação e inserção dos parâmetros máximos e mínimos de massa de carbono que cada eco-paisagem comporta. Ambos foram determinados com os dados coletados em campo sob diferentes fases alcançadas pelas savanas no pós-fogo ou a partir de dados das áreas de floresta de contato (tipo cerradão) que serviram de base para BARBOSA & FEARNSIDE (1999);

(4) Distribuição aleatória dos anos climáticos (normal, seco e úmido) pelos 100 anos da simulação e dentro da participação anteriormente estipulada;

(5) Inserção das “condições” de cada parâmetro de cálculo (taxas e condicionantes de área queimada e não-queimada) em função do ano climático;

(6) Contabilização anual do destino do carbono em função das condicionantes anteriores;

(7) Formulação de uma média individual e outra ponderada para as três paisagens em função da área que cada uma delas ocupa.

## 6.2 Resultados

### 6.2.1 Mortalidade e Recrutamento

O número médio de indivíduos vivos (exclusivos da fase inicial) decresceu de 47,7 ind.ha$^{-1}$ em fevereiro/95 para 40,6 ind.ha$^{-1}$ em agosto/98 ($k_{anual}$ = -0,046) na área protegida do fogo (MC), enquanto que na área desprotegida (AB; 2 queimadas totais e 1 parcial), o número foi reduzido de 60,9 ind.ha$^{-1}$ para 35,9 ind.ha$^{-1}$ ($k_{anual}$ = -0,151) (FIGURA 18). Contabilizando as perdas por morte e deslocamentos entre as classes de diâmetro ocorridas nos indivíduos iniciais, a classe de diâmetro de base (Db) entre 2 e 5 cm, do grupo “Mirixi” da área não-protegida (AB) foi a que mais perdeu indivíduos em números absolutos (21,1 ind.ha$^{-1}$) (TABELA 21).

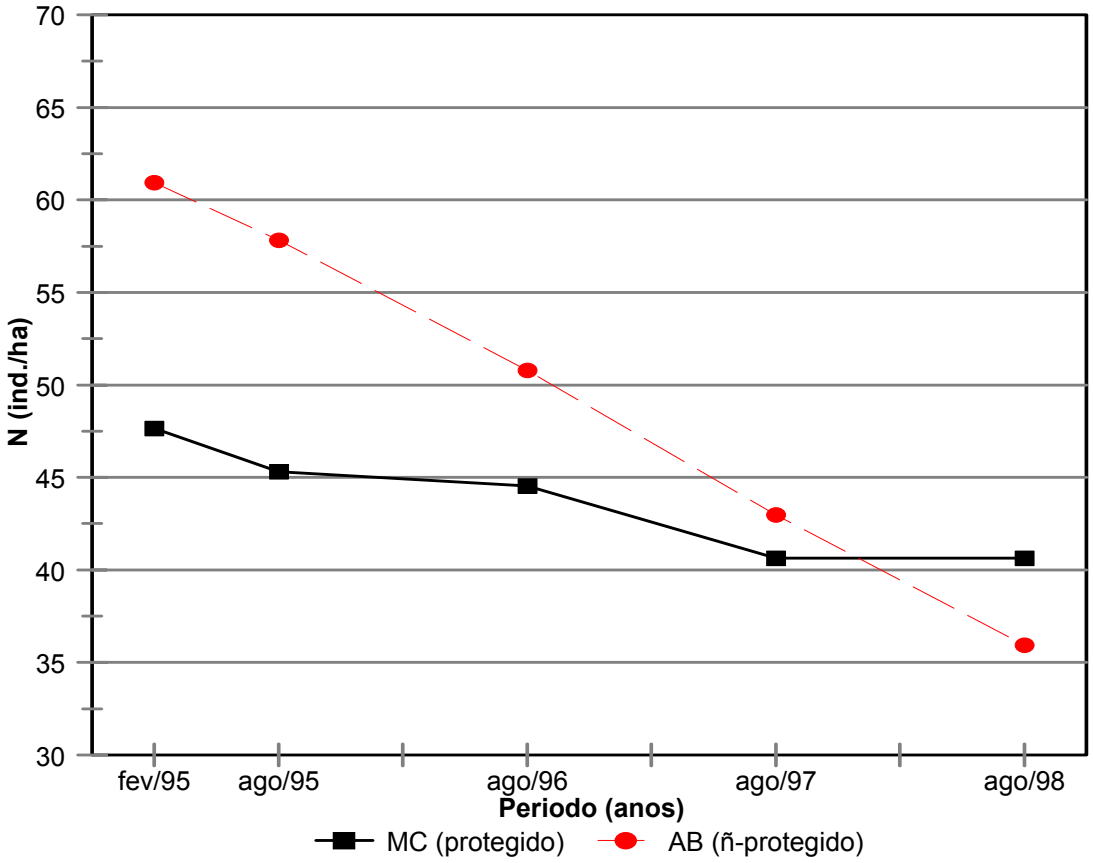



FIGURA 18 - Número de indivíduos "iniciais" (fev/95) que permaneceram vivos ao longo do tempo (ago/98) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida).

TABELA 21 - Número de indivíduos e taxa de mortalidade entre os diferentes grupos de espécie para as áreas MC (protegida e AB (não-protegida) no período de fev/95 a ago/98.

| Área / Grupo | INICIAL - FEV/95 | | | | FINAL - AGO/98 | | | | Taxa Logarítimica de Mortalidade | | | | Total Ind. Mortos/Transferidos (1) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2-5 | 5-10 | > 10 | Total | 2-5 | 5-10 | > 10 | Total | 2-5 | 5-10 | > 10 | Total | 2-5 | 5-10 | > 10 | Total |
| MC (Prot.) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mirixi | 16.4 | 11.7 | 3.1 | 31.3 | 10.2 | 14.1 | 3.9 | 28.1 | -0.137 | 0.052 | 0.064 | -0.030 | -6.3 | 2.3 | 0.8 | -3.1 |
| Caimbé | 0.0 | 0.8 | 3.9 | 4.7 | 0.0 | 0.8 | 3.9 | 4.7 | - | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Outros | 7.0 | 3.9 | 0.8 | 11.7 | 3.1 | 3.9 | 0.8 | 7.8 | -0.232 | 0.000 | 0.000 | -0.116 | -3.9 | 0.0 | 0.0 | -3.9 |
| Total | 23.4 | 16.4 | 7.8 | 47.7 | 13.3 | 18.8 | 8.6 | 40.6 | -0.162 | 0.038 | 0.027 | -0.046 | -10.2 | 2.3 | 0.8 | -7.0 |
| AB (N-Prot.) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mirixi | 43.0 | 9.4 | 1.6 | 53.9 | 21.9 | 7.0 | 3.9 | 32.8 | -0.193 | -0.082 | 0.262 | -0.142 | -21.1 | -2.3 | 2.3 | -21.1 |
| Caimbé | 0.8 | 0.8 | 0.0 | 1.6 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.8 | - | 0.000 | - | -0.198 | -0.8 | 0.0 | 0.0 | -0.8 |
| Outros | 4.7 | 0.8 | 0.0 | 5.5 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | -0.198 | - | - | -0.242 | -2.3 | -0.8 | 0.0 | -3.1 |
| Total | 48.4 | 10.9 | 1.6 | 60.9 | 24.2 | 7.8 | 3.9 | 35.9 | -0.198 | -0.096 | 0.262 | -0.151 | -24.2 | -3.1 | 2.3 | -25.0 |

(1) Número de indivíduos que morreram ou trocaram de classe dentro do período analisado.

O recrutamento de indivíduos jovens (Db < 2cm) para o estrato arbóreo, descontados os recrutados que morreram, foi maior na área protegida (22,7 ind.ha$^{-1}$) do que na não-protegida (14,1 ind.ha$^{-1}$) (FIGURA 19). Somados todos os individuos vivos finais (iniciais + recrutados), a taxa de incremento médio anual foi decrescente (- 0,057) na não-protegida (AB) e crescente (0,081) na protegida (MC). A taxa média ponderada de incremento de indivíduos com Db acima de 2cm, considerando áreas queimadas e não-queimadas, foi de 0,040 ao longo do período amostral.

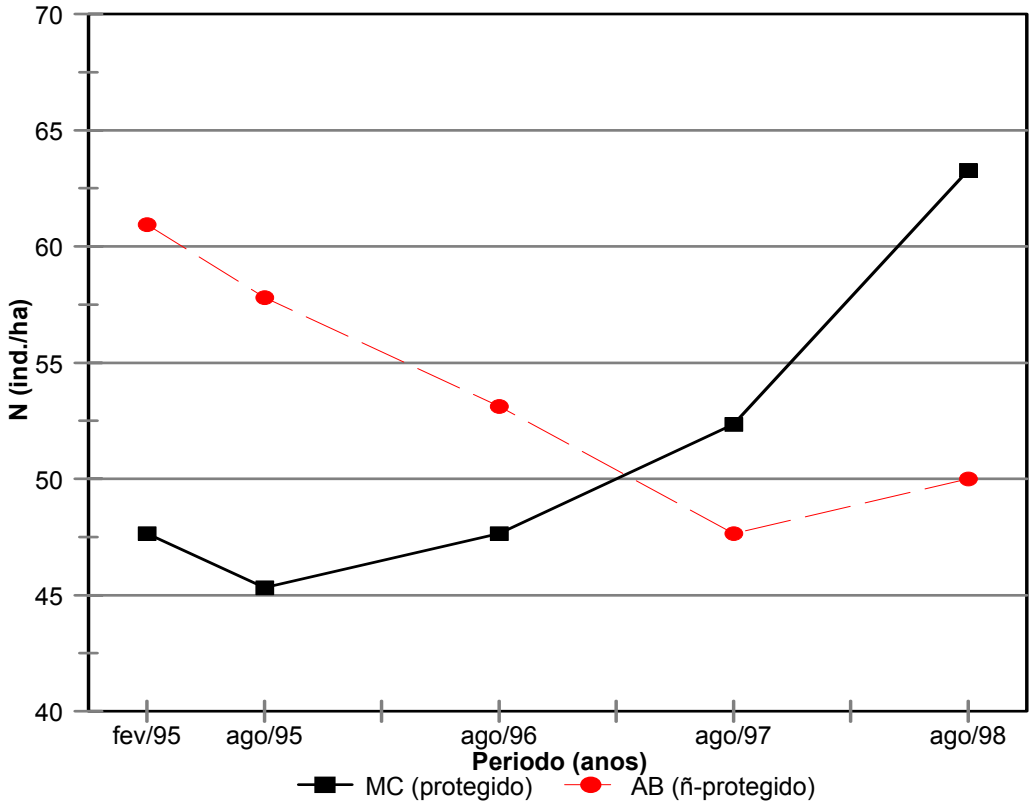



FIGURA 19 - Número total de indivíduos vivos presente (iniciais vivos + recrutados vivos) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida).

O total de biomassa e/ou carbono por unidade de área incrementou ou decresceu da mesma forma e, sempre em função da presença ou ausência de fogo em cada área, associada a períodos climáticos secos, úmidos e/ou normais como

aqui definidos. A taxa de incremento de carbono apenas para os indivíduos vivos (inicial + recrutados) na área protegida (0,042) foi o dobro da não-protegida (0,021) entre fevereiro/95 e agosto/98 (FIGURA 20).

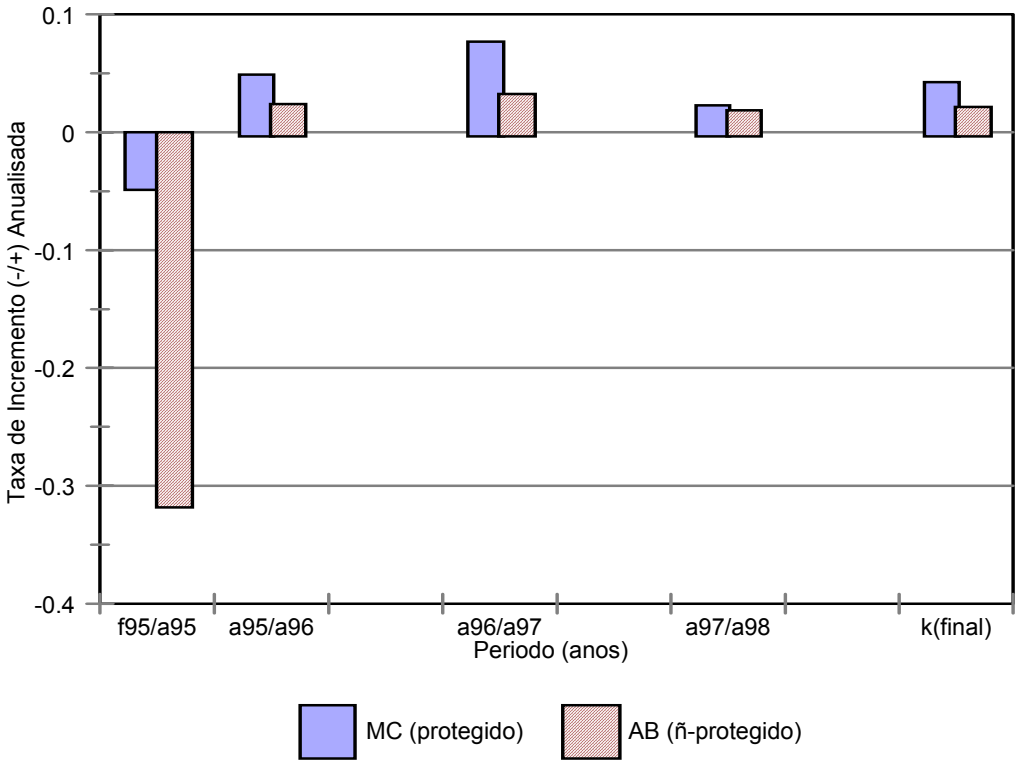
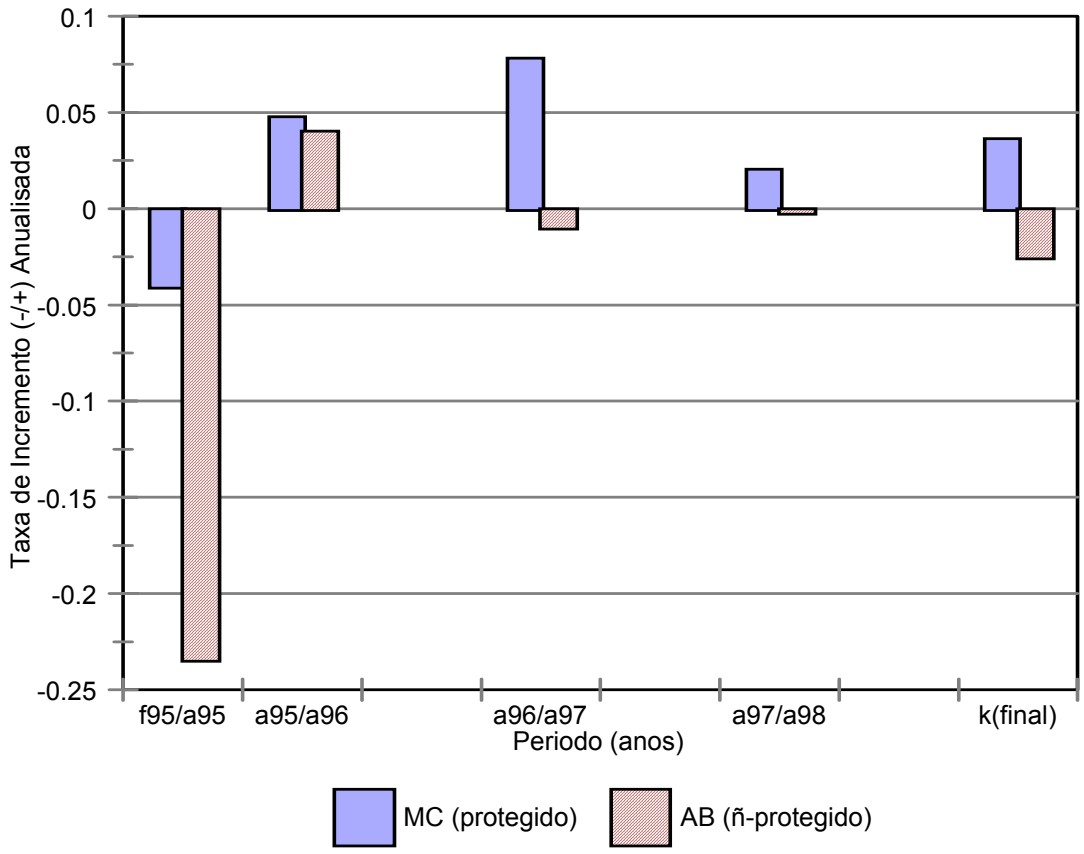



FIGURA 20 - Taxa de incremento (-/+) de carbono nos indivíduos vivos (inicial + recrutados) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida).

Considerando a biomassa total (viva + morta), a taxa de incremento do carbono para o mesmo período foi de 0,036 para a área protegida (MC) e de -0,025 para a não-protegida (AB) (FIGURA 21). A média da taxa de perda de carbono pós-descanso de 2 anos para ambas as áreas foi de -0,114 (fev/95 a ago/95). Adotando os três períodos climáticos definidos entre 1995 e 1998, houve correlação positiva entre a precipitação de cada período e a taxa de incremento de carbono na área protegida (Pearson; $p_{MC}$ = 0,99). A área não-protegida (AB) não apresentou uma correlação significativa (Pearson; $p_{MC}$ = -0,04).

FIGURA 21 - Taxa de incremento (-/+) do carbono total (viva + morta ; inicial + recrutada) nas áreas MC (protegida) e AB (não-protegida).




6.2.2 Dinâmica das Peças de Madeira “EM” / “SEM” Contato com o Solo

A concentração (%) das peças de madeira “em” / ”sem”contato com o solo variou em função (1) do tempo em que a peça ficou exposta às intemperes climáticas, (2) da faixa diamétrica, (3) da presença de fogo nas fases inicial e final de alguns indivíduos e (4) do grupo de espécie a que pertencia (TABELA 22).

TABELA 22 - Dinâmica percentual (%) da concentração das peças lenhosas amostradas por grupos de espécies, classe diamétrica e classe de contato com o solo.

| Classe de Contato | ANO 0 (1) Classe Diamétrica | | | ANO 1 Classe Diamétrica | | | ANO 2 Classe Diamétrica | | | ANO 3 Classe Diamétrica | | | ANO 4 Classe Diamétrica | | | ANO 5 Classe Diamétrica | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 |
| MIRIXI (n=18) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| em | 22.0 | 38.0 | 24.8 | 56.4 | 40.0 | 28.7 | 62.7 | 94.6 | 100.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| sem | 78.0 | 62.0 | 75.2 | 43.6 | 60.0 | 71.3 | 37.3 | 5.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Geral | 41.9 | 33.4 | 24.7 | 40.6 | 34.3 | 25.1 | 39.8 | 36.5 | 23.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| CAIMBÉ (n=16) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| em | 38.8 | 33.7 | 33.9 | 73.1 | 48.4 | 35.9 | 84.6 | 52.5 | 50.9 | 94.8 | 54.6 | 51.5 | 97.9 | 64.2 | 57.1 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| sem | 61.2 | 66.3 | 66.1 | 26.9 | 51.6 | 64.1 | 15.4 | 47.5 | 49.1 | 5.2 | 45.4 | 48.5 | 2.1 | 35.8 | 42.9 | - | - | - |
| Geral | 23.3 | 28.7 | 48.0 | 17.1 | 29.0 | 53.9 | 12.1 | 27.4 | 60.5 | 11.4 | 26.1 | 62.6 | 10.5 | 24.9 | 64.6 | 44.7 | 11.5 | 43.8 |
| OUTROS (n=8) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| em | 22.4 | 29.9 | 100.0 | 38.3 | 93.1 | 100.0 | 62.0 | 89.3 | 100.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| sem | 77.6 | 70.1 | - | 61.7 | 6.9 | - | 38.0 | 10.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Geral | 41.2 | 23.8 | 35.0 | 42.4 | 20.0 | 37.6 | 23.3 | 24.2 | 52.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

(1) Participação no ato da queda (morte).
(2) n = número de indivíduos amostrados.

Com excessão do grupo “Mirixi”, a participação média (%) da classe de peças com diâmetro acima de 10 cm aumentou ao longo do tempo devido ao rápido desaparecimento das peças mais sensíveis ao fogo e/ou à decomposição natural dos indivíduos. “Caimbé” foi o grupo com a maior série amostral e apenas inverteu este quadro no Ano 5 da amostragem devido ao estado avançado de fragmentação das peças remanescentes e por uma forte queimada na maioria dos indivíduos analisados (FIGURA 22).

### 6.2.3 Densidade Básica

A densidade básica inicial (indivíduos vivos), para todos os grupos de espécie e tipos de paisagem, que serviu como parâmetro primário de avaliação da velocidade de decomposição/desaparecimento do estrato arbóreo esta apresentada na TABELA 23 e no ANEXO IV. De modo geral, a densidade básica inicial (ponderada) cresceu no sentido sul-norte em função das eco-paisagens amostradas : Sg (0,392 $g.cm^{-3}$), Sp (0,394 $g.cm^{-3}$) e Tp (0,411 $g.cm^{-3}$). Da mesma forma, peças com diâmetro inferior a 5cm apresentaram menor densidade média geral (0,329 $g.cm^{-3}$), em relação àquelas situadas nas faixas de 5 a 10 cm (0,424 $g.cm^{-3}$) e maiores que 10 cm (0,449 $g.cm^{-3}$). O grupo “Outros” foi o que apresentou a maior densidade média geral ponderada com 0,412 $g.cm^{-3}$, considerando os valores determinados para todas as paisagens e classes diamétricas.

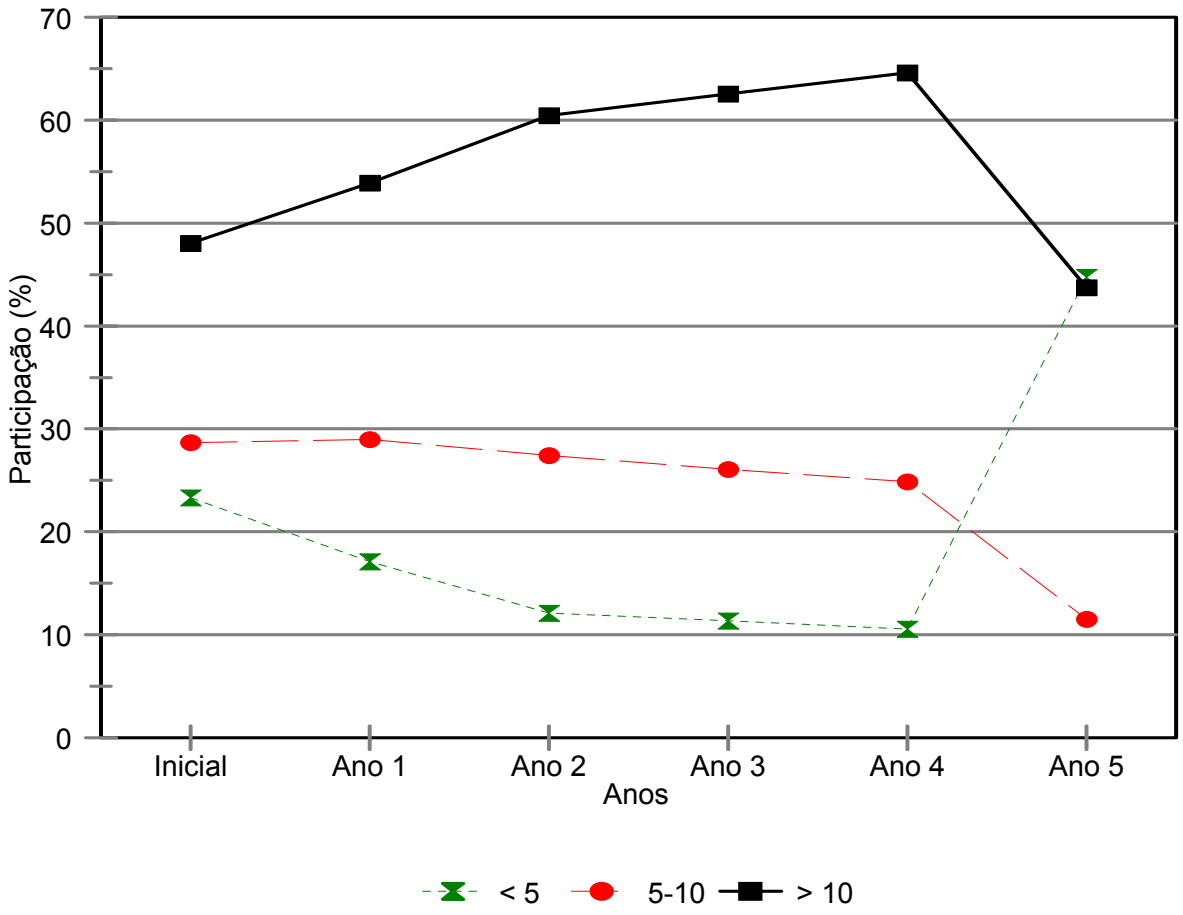



FIGURA 22 - Dinâmica da participação das classes diamétricas ao longo do tempo para o grupo de espécie "Caimbé" (*Curatella americana*).

TABELA 23 - Densidade básica ($g.cm^{-3}$) dos grupos de espécies (Mirixi ; Caimbé ; Outros) na fase "viva", determinada por tipo de paisagem e classe diamétrica da composição estrutural de cada grupo, por tipo de savana.

| Paisagem | Sg (gramíneo-lenhosa) | | | | Sp (parque) | | | | Tp (estépica-parque) | | | | Média Geral Ponderada[2] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grupos/Classes | < 5 | 5-10 | > 10 | Média | < 5 | 5-10 | > 10 | Média | < 5 | 5-10 | > 10 | Média | < 5 | 5-10 | > 10 | Média |
| **Mirixi** | 0.314 | 0.429 | 0.465 | 0.373 | 0.367 | 0.444 | 0.459 | 0.412 | 0.382 | 0.416 | 0.464 | 0.409 | 0.359 | 0.435 | 0.461 | 0.404 |
| *n*[1] | *15* | *8* | *4* | *27* | *11* | *6* | *2* | *19* | *11* | *7* | *5* | *23* | *37* | *21* | *11* | *69* |
| *DP* | *0.051* | *0.039* | *0.036* | *0.041* | *0.056* | *0.026* | *0.047* | *0.042* | *0.098* | *0.044* | *0.110* | *0.084* | *0.069* | *0.036* | *0.064* | *0.056* |
| **Caimbé** | 0.349 | 0.479 | 0.469 | 0.441 | 0.283 | 0.392 | 0.423 | 0.380 | 0.320 | 0.428 | 0.456 | 0.411 | 0.312 | 0.420 | 0.448 | 0.404 |
| *n* | *7* | *6* | *5* | *18* | *13* | *11* | *5* | *29* | *8* | *7* | *5* | *20* | *28* | *24* | *15* | *67* |
| *DP* | *0.073* | *0.125* | *0.100* | *0.102* | *0.052* | *0.049* | *0.024* | *0.040* | *0.034* | *0.063* | *0.072* | *0.059* | *0.054* | *0.082* | *0.067* | *0.069* |
| **Outros** | 0.332 | 0.437 | 0.456 | 0.375 | 0.401 | 0.522 | 0.489 | 0.453 | 0.371 | 0.484 | 0.521 | 0.393 | 0.368 | 0.482 | 0.481 | 0.412 |
| *n* | *16* | *8* | *5* | *29* | *13* | *5* | *5* | *23* | *11* | *7* | *5* | *23* | *40* | *20* | *15* | *75* |
| *DP* | *0.066* | *0.119* | *0.107* | *0.100* | *0.122* | *0.116* | *0.092* | *0.110* | *0.090* | *0.102* | *0.052* | *0.080* | *0.095* | *0.112* | *0.083* | *0.097* |
| **Média Ponderada** | **0.322** | **0.443** | **0.467** | **0.392** | **0.331** | **0.415** | **0.432** | **0.394** | **0.329** | **0.427** | **0.456** | **0.411** | **0.329** | **0.424** | **0.449** | **0.404** |

(1) n = número de amostras válidas para formação da média ; DP = desvio padrão da média.
(2) Média ponderada pela participação (%) das peças em cada grupo de indivíduos e pela área de cada tipo de savana.

A TABELA 24 apresenta a continuidade do levantamento de perdas da densidade básica ao longo do tempo pela necromassa dos indivíduos de diferentes grupos de espécies das savanas locais. A maior série levantada foi para “Caimbé”. As peças de madeira “em” contato com o solo, apresentaram menor densidade do que as peças “sem” contato até o terceiro ano de amostragem neste grupo, quando então apresentaram uma elevação sobre os valores anteriores (FIGURA 23).

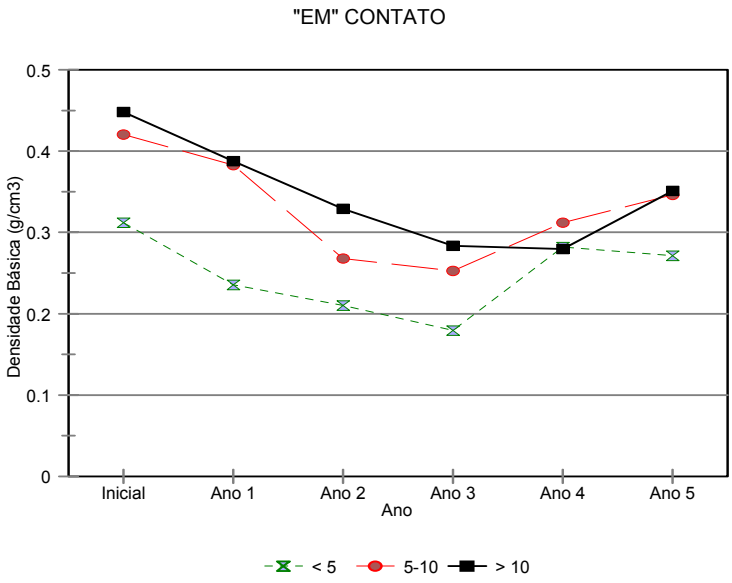
### 6.2.4 Perda de Volume

As perdas percentuais volumétricas foram função do tempo e da presença de fogo nos indivíduos que representaram o total de material lenhoso ainda presente em cada fase (ano) amostral (TABELA 25). Os três grupos de espécies foram distintos entre si, com o grupo “Mirixi” apresentando a menor perda no primeiro ano pós-morte/queda (7,7% a 17,4%). “Caimbé” teve a maior série de observação e indicou uma tendência uniforme para as três classes de diâmetro nos três primeiros anos amostrados, quando então apresentou perdas distintas entre si (FIGURA 24).

TABELA 24 - Densidade básica (g/cm$^3$) ao longo do período amostral dos grupos de espécies (morto), por classe diamétrica da composição estrutural de cada grupo de indivíduos e classe de contato com o solo, coletados como média para 42 indivíduos investigados em Roraima.

| Grupo de Espécies | Classe de Contato | ANO 1 Classe Diamétrica | | | ANO 2 Classe Diamétrica | | | ANO 3 Classe Diamétrica | | | ANO 4 Classe Diamétrica | | | ANO 5 Classe Diamétrica | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 |
| **Mirixi** | **EM** | 0.322 | 0.420 | 0.443 | 0.316 | 0.420 | 0.389 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *n*(1) | *18* | *17* | *5* | *18* | *15* | *3* | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *0.0633* | *0.0451* | *0.0228* | *0.059* | *0.056* | *0.063* | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | **SEM** | 0.340 | 0.428 | 0.469 | 0.353 | 0.475 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *n* | *17* | *10* | *4* | *7* | *2* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *0.044* | *0.023* | *0.000* | *0.056* | *0.107* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **Caimbé** | **EM** | 0.236 | 0.383 | 0.387 | 0.210 | 0.268 | 0.329 | 0.179 | 0.253 | 0.284 | 0.282 | 0.312 | 0.280 | 0.271 | 0.346 | 0.351 |
| | *n* | *16* | *16* | *13* | *15* | *16* | *13* | *13* | *13* | *11* | *13* | *13* | *11* | *8* | *7* | *4* |
| | *DP* | *0.023* | *0.077* | *0.055* | *0.015* | *0.061* | *0.076* | *0.028* | *0.039* | *0.079* | *0.090* | *0.053* | *0.054* | *0.065* | *0.083* | *0.091* |
| | **SEM** | 0.383 | 0.455 | 0.441 | 0.300 | 0.393 | 0.425 | 0.223 | 0.314 | 0.391 | 0.294 | 0.328 | 0.366 | - | - | - |
| | *n* | *15* | *14* | *11* | *13* | *12* | *11* | *8* | *10* | *10* | *4* | *8* | *9* | - | - | - |
| | *DP* | *0.076* | *0.039* | *0.041* | *0.041* | *0.049* | *0.056* | *0.059* | *0.077* | *0.080* | *0.032* | *0.056* | *0.101* | - | - | - |
| **Outros** | **EM** | 0.279 | 0.371 | 0.387 | 0.238 | 0.227 | 0.359 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *n* | *8* | *4* | *2* | *6* | *2* | *2* | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *0.048* | *0.068* | *0.084* | *0.029* | *0.000* | *0.000* | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | **SEM** | 0.302 | 0.380 | - | 0.226 | 0.245 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *n* | *6* | *1* | - | *2* | *1* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *0.0529* | - | - | *0.000* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

(1) n = número de indivíduos válidos ; DP = desvio padrão da média.



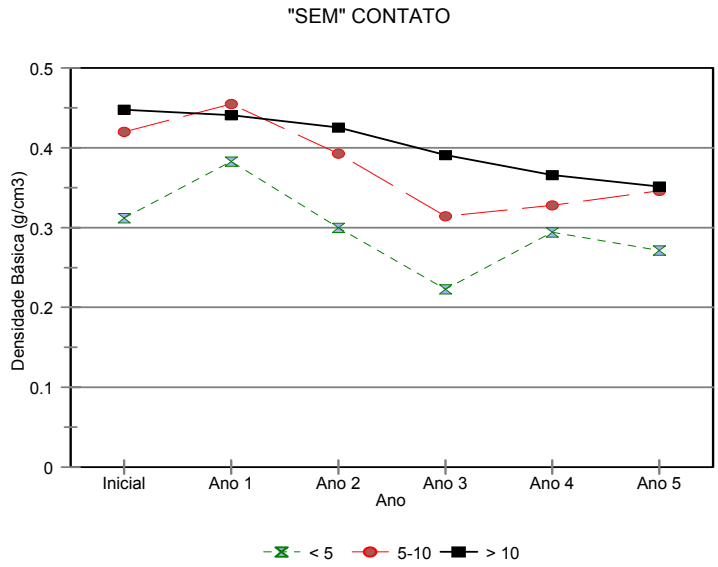




FIGURA 23 - Dinâmica da densidade básica (g.cm$^{-3}$) das peças de Caimbé (*Curatella americana)* "em" e "sem" contato com o solo ao longo de uma sequencia temporal.

TABELA 25 - Porcentagem (%) de material lenhoso (casca, cerne e alburno) perdido pelos grupos de espécies ao longo do tempo, em função da classe diamétrica das peças e da classe de contato com o solo.

| Grupo de Espécies | Classe de Contato | ANO 1 Classe Diamétrica | | | ANO 2 Classe Diamétrica | | | ANO 3 Classe Diamétrica | | | ANO 4 Classe Diamétrica | | | ANO 5 Classe Diamétrica | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 | < 5 | 5-10 | > 10 |
| Mirixi | **EM** | 11.3 | 16.3 | 4.4 | 22.5 | 26.0 | 7.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *10.2* | *22.5* | *5.3* | *15.9* | *20.3* | *8.1* | | | | | | | | | |
| | **SEM** | 2.8 | 18.2 | 13.1 | 1.7 | 26.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *8.0* | *13.6* | *0.0* | *2.9* | *22.9* | *-* | | | | | | | | | |
| | **GERAL** | 7.7 | 17.4 | 8.4 | 14.8 | 26.0 | 7.6 | | | | | | | | | |
| | *DP* | *9.8* | *17.8* | *1.3* | *15.0* | *21.6* | *8.1* | | | | | | | | | |
| Caimbé | **EM** | 21.2 | 22.5 | 13.9 | 28.7 | 34.5 | 28.8 | 33.5 | 40.7 | 48.9 | 49.9 | 44.0 | 49.7 | 23.4 | 48.1 | 21.1 |
| | *DP* | *4.7* | *7.8* | *0.0* | *6.4* | *16.0* | *11.5* | *9.7* | *9.5* | *19.9* | *20.4* | *24.7* | *27.5* | *19.1* | *27.2* | *21.4* |
| | **SEM** | 8.3 | 19.8 | 13.9 | 9.0 | 21.0 | 19.5 | 15.9 | 28.8 | 28.4 | 42.4 | 20.2 | 33.5 | - | - | - |
| | *DP* | *3.2* | *4.5* | *2.3* | *5.0* | *9.5* | *8.5* | *7.8* | *16.3* | *13.9* | *33.1* | *16.2* | *27.3* | *-* | *-* | *-* |
| | **GERAL** | 17.7 | 29.7 | 13.9 | 37.6 | 46.9 | 22.3 | 32.1 | 34.9 | 39.3 | 49.7 | 35.8 | 44.6 | 23.4 | 48.1 | 21.1 |
| | *DP* | *4.3* | *6.2* | *1.2* | *6.0* | *13.5* | *10.3* | *9.1* | *12.3* | *17.7* | *26.2* | *22.0* | *27.4* | *19.1* | *27.2* | *21.4* |
| Outros | **EM** | 19.2 | 43.7 | 27.0 | 17.0 | 17.6 | 8.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *23.8* | *27.2* | *3.7* | *18.5* | *10.4* | *1.8* | | | | | | | | | |
| | **SEM** | 5.3 | 0.9 | - | 18.5 | 0.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *3.3* | *0.0* | *-* | *3.4* | *0.0* | *-* | | | | | | | | | |
| | **GERAL** | 10.7 | 40.8 | 27.0 | 11.4 | 37.2 | 12.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | *DP* | *19.3* | *26.7* | *3.7* | *10.6* | *10.4* | *1.8* | | | | | | | | | |

(1) Geral = representa a porcentagem média ponderada entre o total de peças "em" e "sem" contato com o solo daquela classe diamétrica.
(2) A distribuição média varia em função de peças que sofream maior ou menor grau de decomposição natural ou com presença de fogo.
(3) DP = Desvio Padrão da Média

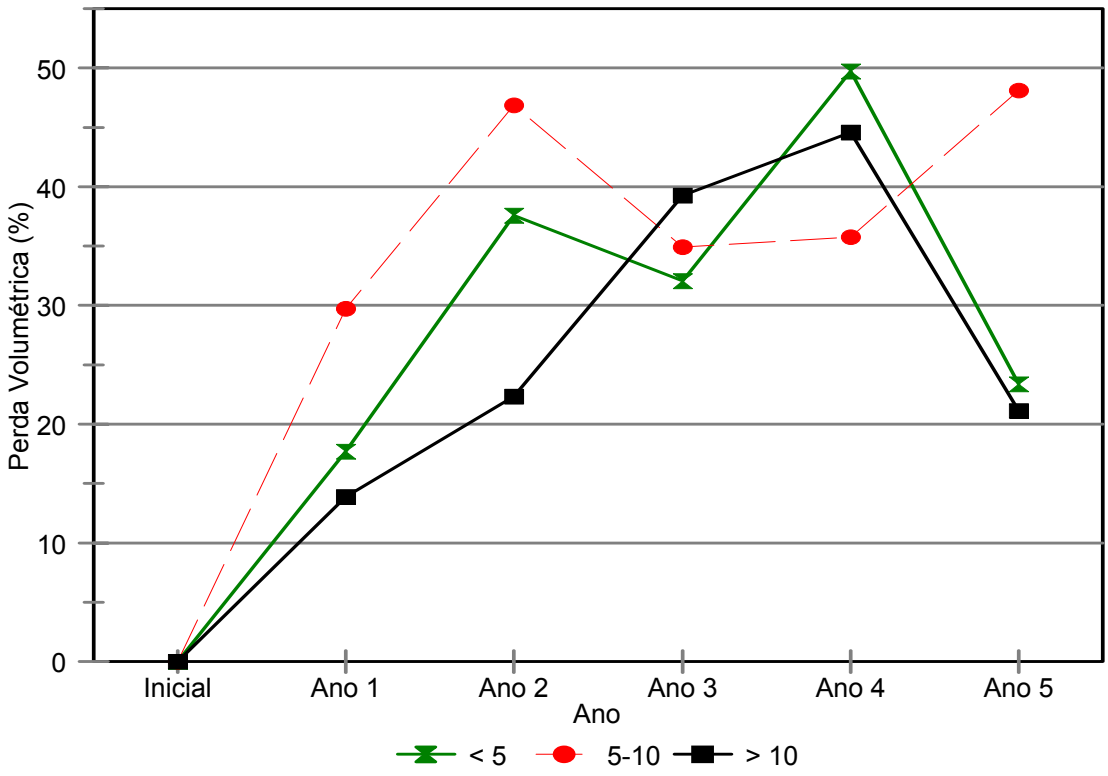



FIGURA 24 - Perda volumétrica (%) observada nas peças remanescentes de Caimbé (*Curatella americana*) para as três classes de diâmetro ao longo do período amostral.

### 6.2.5 Decomposição da Necromassa (Perda Conjunta de Material Lenhoso)

A TABELA 26 e a FIGURA 25 apresentam as perdas médias conjuntas (%) de densidade e volume das peças lenhosas amostradas, da fase incial até o intervalo entre o 2º e o 3º ano pós-morte dos grupos de espécies por classe de contato com o solo e por classe diamétrica. Até este período (2-3), a média ponderada geral para as três savanas estudadas foi de 75,8% de perdas por

TABELA 26 - Perda bruta (%) generalizada de material lenhoso de todos os grupos de espécies e classes diamétricas ao longo dos três primeiros anos de coleta.

| Intervalo de Tempo | > 10 | | | 5-10 | | | < 5 | | | Total | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Classe de Contato | | | Classe de Contato | | | Classe de Contato | | | Classe de Contato | | |
| | sem | em | Total (%) | sem | em | Total (%) | sem | em | Total (%) | sem | em | Total (%) |
| **0-1** | 18.8 | 14.6 | 18.1 | 24.6 | 12.3 | 20.2 | 45.9 | -65.4 | 20.4 | 32.8 | 2.1 | 23.2 |
| *DP* | *0.5* | *8.1* | *2.5* | *7.7* | *3.0* | *6.1* | *3.7* | *38.3* | *10.3* | *3.5* | *16.3* | *6.8* |
| **1-2** | 69.8 | 20.5 | 56.3 | 91.5 | 32.7 | 69.3 | 87.1 | 27.6 | 72.9 | 80.9 | 27.6 | 64.6 |
| *DP* | *11.6* | *10.1* | *6.7* | *7.5* | *7.6* | *1.6* | *1.7* | *9.0* | *2.2* | *9.4* | *11.1* | *4.2* |
| **2-3** | 83.1 | 46.9 | 73.6 | 94.1 | 45.0 | 75.6 | 89.6 | 38.2 | 77.4 | 88.5 | 45.2 | 75.8 |
| *DP* | *6.5* | *15.3* | *1.3* | *4.5* | *6.9* | *0.1* | *2.7* | *11.6* | *3.8* | *4.7* | *14.6* | *0.2* |

(1) Valores negativos indicam transferência de material da classe "sem" para a classe "em" contato com o solo.
(2) DP = Desvio Padrão da Média

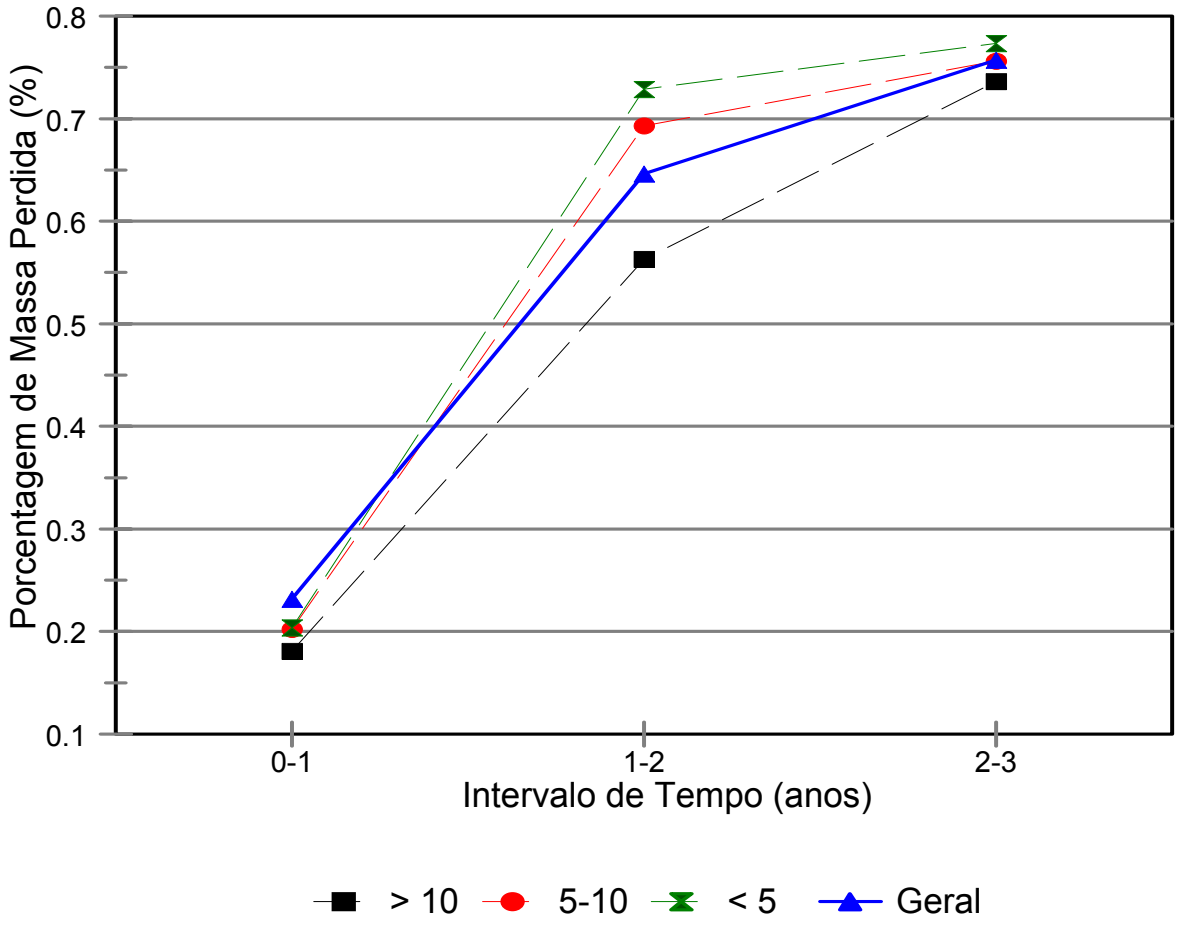



FIGURA 25 - Perda percentual conjunta (densidade e volume) das três classes de diâmetro para todas as espécies.

fogo e decomposição natural. A classe de diâmetro acima de 10cm foi a que menos perdeu massa ao longo dos três primeiros anos (73,6%), enquanto que a classe mais atingida foi a inferior a 5cm (77,4%).

As taxas logarítimicas determinadas em função do valor incial anual foram influenciadas pela (1) presença ou ausência do fogo, (2) grupo de espécie e (3) classe diamétrica das peças. O grupo “Mirixi” apresentou as menores taxas iniciais gerais (intervalo 0-1) com perdas acumuladas totais (fogo + fragmentação natural) de 0,118, enquanto que as maiores taxas foram registradas para os grupos “Caimbé” (0,402) e “Outros” (0,451) para o mesmo período (TABELA 27 e ANEXO V). Ao final do terceiro ano amostral, todas as taxas ponderadas estavam acima de 0,460 para cada grupo de espécie. A média geral ponderada de perda logaritimizada para todos os grupos e classe de diâmetro foi de 0,308 (0-1), 0,504 (1-2) e 0,473 (2-3). A brusca variação registrada entre (1-2) e (2-3) foi conseqüência (1) da distorção que o modelo logarítimico provoca ao analisar valores com grande perda de material em um período (com fogo, por exemplo), seguido de um outro com poucos danos à estrutura física das frações da necromassa e, (2) da translocação das peças “sem” para as “em” contato com o solo para o grupo “Mirixi” (cf TABELA 27; cf ANEXO V;  FIGURA 26-A/B/C).

TABELA 27 - Taxa logaritímica de perda composta por fogo e fragmentação para todos os grupos de espécies e classes diamétricas.

| Intervalo de Tempo | Caimbé | | | | Mirixi | | | | Outros | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Classe Diamétrica (cm) | | | | Classe Diamétrica (cm) | | | | Classe Diamétrica (cm) | | | |
| | > 10 | 5-10 | < 5 | Geral | > 10 | 5-10 | < 5 | Geral | > 10 | 5-10 | < 5 | Geral |
| 0-1 | -0.240 | -0.477 | -0.843 | -0.402 | -0.123 | -0.175 | -0.064 | -0.118 | -0.484 | -0.489 | -0.312 | -0.451 |
| 1-2 | -0.323 | -0.521 | -0.766 | -0.440 | -0.670 | -0.608 | -0.589 | -0.635 | -0.307 | -0.750 | -0.732 | -0.435 |
| 2-3 | -0.424 | -0.470 | -0.677 | -0.476 | -0.490 | -0.469 | -0.415 | -0.465 | -0.425 | -0.724 | -0.613 | -0.500 |
| 3-4 | -0.476 | -0.553 | -0.601 | -0.517 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4-5 | -0.815 | -1.057 | -0.652 | -0.799 | - | - | - | - | - | - | - | - |

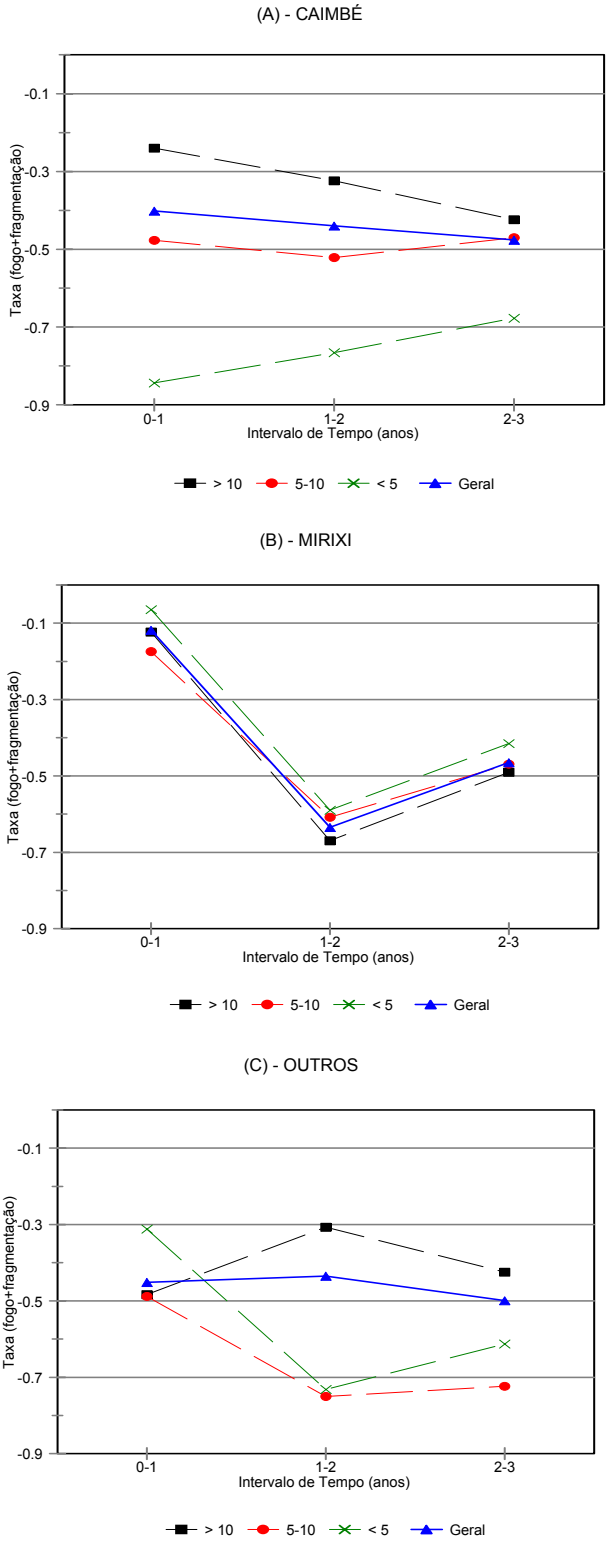



FIGURA 26 - Taxa logarítimica (ponderada) de perda de massa conjunta (densidade e volume) das peças "sem" e "em" contato com o solo dos grupos de espécie (A) Caimbé, (B) Mirixi e (C) Outros para as três classes de diâmetro investigadas.

### 6.2.6 Dinâmica do Carbono Acima do Solo

A FIGURA 27 apresenta o resultado médio final (pós 100 anos) de todas as eco-regiões de savana de Roraima aqui estudadas (Sg, Sp e Tp). Estes resultados traçam o perfil de todas as perdas (fogo, fragmentação, decomposição) e ganhos (crescimento, recrutamento) anuais que a biomassa de cada sistema ficou sujeita. Em termos absolutos, o Cenário Atual (18 anos secos a cada 100 anos corridos) resultou em perda de carbono arbóreo para todas as paisagens e, ganho de carbono rasteiro nos ambientes Sg e Sp, com uma pequena perda em Tp. Uma média geral total ponderada para todas as eco-regiões foi calculada para obter um índice médio de incremento (-/+) para as savanas locais. O resultado foi um incremento negativo (-1,81 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$), devido aos -3,06 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ de massa de carbono no componente arbóreo somados aos 1,25 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ do componente rasteiro (ver FIGURA 27-D).

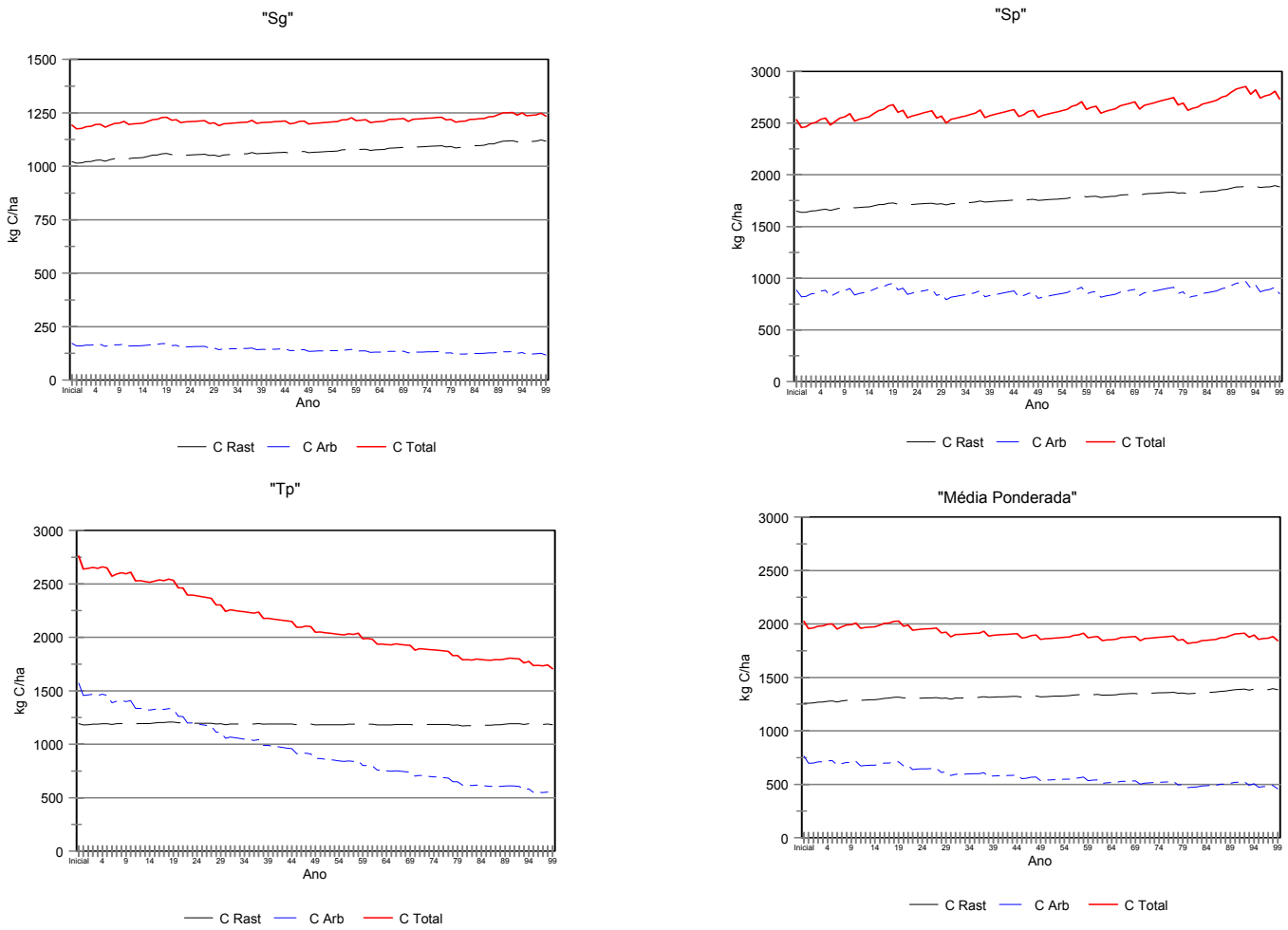



FIGURA 27 - Resultado da simulação para dinâmica do carbono acima do solo contido na biomassa total (arbóreo + rasteiro) das três savanas (Sg ; Sp ; Tp) estudadas em Roraima e da média ponderada (por área) entre as mesmas.

## 6.3 Discussão

### 6.3.1 Mortalidade e Recrutamento

A ausência do fogo indicou ser o maior facilitador do recrutamento de indivíduos lenhosos tanto (1) da fase juvenil para a arbórea como (2) das classes de menor para as de maior diâmetro nas savanas de Roraima. Este fato também foi observado por BRAITHWAITE (1996) em uma análise sobre a dinâmica dos indivíduos arbóreos nas savanas do Northern Territory na Austrália e, por MOREIRA (1992 ; 1996 ; sd) em uma investigação com cinco tipos de cerrado no Brasil Central. Mesmo espécies caracterizadas como tolerantes ao fogo quando adultas, acabam sendo afetadas nas fases iniciais (juvenis e/ou recrutadas) de crescimento (GIGNOUX *et al.*, 1997), como no caso de *Curatella americana,* que é muito sensível às queimadas nas fases mais recentes (SAN JOSÉ & MEDINA, 1975). Além disto, espécies de porte arbustivo ou sub-arbustivo (adultos), podem ter sua mortalidade 2 ou 3 vezes maior do que indivíduos com porte arbóreo, como percebido por HOFFMANN (1999) em um experimento de fogo induzido no Brasil Central. Nos estudos de Roraima, eu cheguei as mesmas conclusões ao observar taxas de incremento populacional positivas tanto na área protegida (MC) como na não-protegida (AB) para todos os indivíduos com Db superior a 10 cm, em detrimento da classe com Db menor que 5cm, que decresceu mais acentuadamente na área não-protegida.

Para comparação, SILVA *et al.* (1996) observaram que em uma queimada prescrita de “campo sujo” do Brasil Central protegida por 18 anos, a mortalidade foi de 7,2% na primeira queima pós-proteção e 19,1% na queima do ano seguinte para todas as espécies arbóreas com diâmetro superior a 5 cm (30 cm do solo). Da mesma forma e na mesma região, SATO & MIRANDA (1996) realizaram um experimento similar em um cerrado “sensu stricto” também protegido por 18 anos e determinaram valores médios de mortalidade entre 13,0% e 15,6% sobre o total de indivíduos pré-queima. Os valores do estudo em Roraima, quando transformados em porcentagem exclusivamente para a primeira queima pós-

descanso (as duas áreas de Roraima estavam sem fogo por 2 anos), apontam uma média de 5% de mortalidade para todos os indivíduos com diâmetro de base acima de 2 cm. Isoladamente, este valor é 1,4 a 3,8 vezes inferior aos derivados dos trabalhos acima citados. Entretanto, é cerca de 3 vezes superior à média citada por SEILER & CRUTZEN (1980) como regra geral de mortalidade para savanas que queimam regularmente (1-2%).

As taxas pontuais em savanas que queimam regularmente talvez pouco expliquem sua dinâmica. Seu “input” de indivíduos vai ser positivo ou negativo com a observação sequencial de seu comportamento nas diferentes fases climáticas por que passa, associada ao impacto do fogo nos indivíduos. Por exemplo, a recuperação da área protegida (MC), em termos do número de indivíduos vivos iniciais somados aos recrutados foi de 32,8% (fev/95 a ago/98) enquanto que a área não-protegida (AB) foi reduzida em -17,9% de seu valor inicial devido às seguidas queimas. Qualquer taxa individual constante aplicada aos valores iniciais estaria distorcendo o resultado final ao longo do tempo.

Embora haja diferenças na metodologia de observação dos indivíduos (faixa diamétrica e idades de preservação diferente), é possível entender que áreas preservadas por longo tempo acabam alterando a composição estrutural em função da eliminação do efeito do fogo nos indivíduos mais jovens (BUDOWSKI, 1956; HOPKINS, 1965; SAN JOSÉ & FARIÑA, 1983, 1991; LAMOTTE, 1985; MOREIRA, 1992; SILVA, 1996; SAN JOSÉ *et al.*, 1998). Entretanto, é possível perceber também que as áreas preservadas acabam se tornando mais sensíveis à passagem do fogo devido a troca na composição florística que permite a entrada de espécies menos resistentes. Portanto, é importante notar que as taxas de mortalidade e/ou de incremento de massa adquiridas de áreas por longo tempo preservadas não representam a situação real das savanas e não podem ser planejadas para servirem aos modelos de emissão de gases. Elas apenas traduzem um efeito temporal do fogo sobre a preservação de um ambiente com reduzidas chances (atuais e normais) de proteção contra as queimas, devido a própria característica do material combustível e ao acelerado processo antrópico em direção aos cerrados/savanas.

No caso da área não-protegida (AB) em Roraima, as queimadas

anuais afetaram negativamente o “pool” arbóreo de indivíduos que, por sua vez, refletiu na magnitude da taxa de incremento anual (-/+) de biomassa e carbono por unidade de área. Por exemplo, em anos com maior déficit hídrico (1997 e 1998), as taxas de incremento de biomassa / carbono arbóreo total (morto + vivo) foram negativas e variaram de -0,008 (1997) a -0,001 (1998). Entretanto, isto concorre paralelamente para dois outros fatos : (1) mesmo em anos com condições climatológicas de seca, as áreas onde o fogo não penetrou apresentaram taxas de incremento de biomassa / carbono arbóreo pequenas mas, positivas (p. ex. 0,021 no MC entre 1997/98) e (2) em anos de pouco déficit hídrico (úmidos) as áreas que sofreram queimadas também resultaram em taxa líquida de incremento positiva (p. ex. 0,040 no AB entre 1995/96). Mesmo necessitando de uma maior base de dados, isto sugere que, naturalmente, há um seqüestro líquido de carbono por áreas atingidas e não-atingidas por queimadas e que, a freqüência do fogo e as condições climáticas, possuem um papel determinante no processo de seqüestro de carbono atmosférico, principalmente pela ação no componente arbóreo.

Este fato pode ser melhor entendido com base nos estudos de medidas temporais em cerrados (campo sujo e “sensu stricto”) próximos de Brasília por MIRANDA *et al.* (1996b), MIRANDA *et al.* (1997), SANTOS (1999), SILVA (1999) e MIRANDA & MIRANDA (2000). De forma geral, os autores vem sugerindo taxas líquidas de absorção de carbono por este tipo de sistema devido a fixação de 55-67 kg $CO_2$.$ha^{-1}$.$dia^{-1}$ na fase úmida do ano contra a liberação de 21 kg $CO_2$.$ha^{-1}$.$dia^{-1}$ nas fases secas. Estes valores conduzem a uma absorção líquida aproximada de 2,0 -2,5 t C.$ha^{-1}$.$ano^{-1}$ independente das condições climáticas gerais do ano. Embora com coletas pontuais em curtos períodos sazonais, estes estudos apontam e sugerem o grande potencial destes sistemas no armazenamento de carbono e seu papel no contexto da produção primária global .

Da mesma forma, os resultados de longo prazo relatados por SAN JOSÉ *et al.* (1998) nas savanas da região de Calabozo (Venezuela) vem apontando consistência sobre o aporte líquido de carbono em sistemas de savanas (solo e vegetação) protegidos contra o fogo. Embora restrito quanto as informações complementares da necromassa lenhosa acima do solo como reservatório e/ou

fonte dinâmica de carbono, os dados dos autores apontam uma taxa líquida de absorção de carbono pelo material arbóreo de 0,082 (0-8 anos), 0,077 (0-16 anos) e de 0,125 (0-25 anos). O valor médio de 0,036 determinado para a área protegida em Roraima (Monte Cristo - MC) para o período de fevereiro/95 a agosto/98 é menos da metade da 1ª fase de Calabozo. A forma de cálculo (ponderação entre os anos climáticos), as coletas anuais, a inclusão da dinâmica da massa morta nos cálculos e a diferença entre os intervalos observados (3,5 e 8 anos) podem ter afetado a comparação embora as áreas sejam geograficamente próximas na escala global.

### 6.3.2 Decomposição da Necromassa (Perda Composta)

As taxas de perdas compostas (fogo e decomposição natural) obtidas neste estudo são de difícil comparação com outras investigações devido à falta de dados e/ou interesse da ação do carbono na dinâmica da necromassa lenhosa em savanas. Mesmo para sistemas de floresta na Amazônia os estudos são poucos e relativamente recentes. O estudo de CHAMBERS *et al.* (2000) para decomposição natural de troncos mortos (diâmetro > 10cm) em uma área de reserva florestal próxima de Manaus/AM indicou um valor médio anualizado de 0,19 (0,015 a 0,67). Também próximo de Manaus, SUMMERS (1998) determinou um valor de 0,09 a.a. para troncos de árvores remanescentes de uma exploração florestal manejada. Em ambos os trabalhos, os resultados são baixos se comparado aos determinados neste estudo (p. ex. acima de 0,46 até o 3º ano). Entretanto, isto seria o de se esperar pois em sistemas florestais a probabilidade da necromassa experimentar a presença de fogo é baixa e, portanto, apenas a ação microbiana acaba sendo medida.

As taxas médias ponderadas de desaparecimento de peças “em” (0,268) e “sem” (0,718) contato com o solo apresentaram valores bem distintos devido à forma de avaliação de suas frações. As peças eram contabilizadas anualmente e, por isso, a cada ano a quantidade de material “sem” contato que adentrava na classe “em” contato era bem maior do que a quantidade de material que desaparecia naturalmente. Logo, as peças "sem" contato apresentaram valores

superiores, muito embora o esperado fosse o contrário.

Em uma avaliação similar realizada por SUMMERS (1998), o autor determinou que as peças “em” contato com o solo possuiam uma taxa de decomposição natural 40% superior do que as “sem” contato. No estudo em tela, se apenas os valores do primeiro ano pós-morte fossem levados em consideração, evitando o translocamento natural das peças nos anos seguintes, então o valor “em” contato se estabeleceria, em média, 10,1% menor para densidade (17,2% para < 5 ; 6,7% para 5-10 ; 6,6% para > 10) e 12,1% com mais perdas volumétricas do que as peças “sem” contato. Entretanto, diferentemente de sistemas florestais, estes valores devem ser identificados de uma forma composta devido as diferenças de ação que o tempo e o fogo possuem no material lenhoso morto em savanas.

Juntamente com os dados de biomassa total e mortalidade, eu estimei que a massa morta média, presente anualmente em todas as paisagens investigadas, foi de **89,6 kg de biomassa seca/ha** para todos os indivíduos (mortos) com Db acima de 2cm (em pé) e/ou diâmetro médio da peça (tombado) também acima de 2cm. Com a taxa média anual logarítimica (ponderada) para todos os sistemas e grupos de espécies analisados até o 3º ano (0,473), eu determinei que o tempo de residência médio para que metade (50%) desta necromassa arbórea desapareça é de 1,5 anos, com um fluxo anual bruto de carbono da ordem 14,3 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ em direção à atmosfera ou sendo incorporado ao solo sob diferentes formas fragmentárias.

### 6.3.3 Dinâmica do Carbono (Balanço)

Seguindo o contexto geral acima discutido, o modelo apresentado tenta resgatar o realismo das variações anuais que cada sistema de savana possui, injetando taxas e parâmetros diferenciados em função do ano climático. O modelo aqui sugerido é uma variação do modelo proposto por PIVELLO & COUTINHO (1996), que admite que a troca da paisagem (sucessão) em savanas é um processo de caminhos múltiplos, em contraposto com as idéias anteriores sobre sucessão linear. A base do atual estudo pressupõe que a quantidade de áreas queimadas

anualmente seja função das condições ambientais podendo ser maximizadas pela ação antrópica. Com isto, tenta-se evitar as presunções pouco realísticas que assumem a conservação de grandes áreas de savana e/ou padrões médios anuais de áreas queimadas que elevam ou diminuem aleatóriamente a quantidade líquida de carbono emitida anualmente por estes sistemas (como nos modelos exclusivamente determinísticos).

No caso das savanas, a tônica atual sugere que a informação sobre a emissão instantânea bruta anual de carbono pela queima da biomassa acima do solo é mais importante para a determinação da composição dos gases-traço emitidos (ver próximo capítulo) do que propriamente pelo $CO_2$ liberado. Isto porque a dinâmica das savanas é diferente das áreas de floresta com seu recrescimento dando-se de forma rápida e quase que totalmente na fase chuvosa seguinte (ver LAMOTTE, 1975; SARMIENTO, 1984; SCHOLES, 1995). Estas observações são verdade do ponto de vista do curto prazo devido a emissão líquido instantânea de gases-traço para a atmosfera e um seqüestro de curto prazo de $CO_2$ (independente se o componente que sequestra é o arbóreo ou o rasteiro). Entretanto, a re-absorção líquida total de carbono na forma de $CO_2$ fica condicionada às condições ambientais seguintes de médio e longo prazo (favoráveis ou desfavoráveis) que atuariam sobre os diferentes compartimentos do ecossistema. Diferente dos modelos teóricos que trabalham com taxas fixas e estipulam tempo para a massa dobrar com e sem fogo (ver HOCHBERG *et al.*, 1994), este modelo tentou prever condições diferenciadas ao longo do tempo.

O resultado do Cenário Atual (18 anos secos) indicou que na manutenção das atuais condições climáticas, porcentagem de área queimada e taxas de incremento de massa, é possível prever uma redução significativa no estoque total de carbono acima do solo em um período de 100 anos de simulação levando em consideração uma média ponderada entre as três savanas estudadas : -5.854 t C nos 100 anos de simulação (-1,81 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$) ou **-0,09%** de redução anual no estoque médio ponderado. Esta redução foi toda direcionada pela queda nos estoques arbóreos (-3,07 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$) enquanto a massa de carbono rasteiro (+1,25 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$) tomava o espaço deixado pela eliminação ou impossibilidade

dos indivíduos arbóreos se desenvolverem. Diferente dos valores anteriormente calculados no item 5.2.3 sobre a contribuição de cada grupo de biomassa na emissão instantânea de carbono (99,6% - rasteira e 0,4% - arbórea), estes números representam o total líquido de perda ou ganho de carbono ao longo de uma trajetória de 100 anos, em função do potencial de cada um dos grupos em ocupar o espaço deixado pelo outro devido a danos sofridos pelas seguidas queimadas.

Por comparação, em um cenário estável, proporcionado pela proteção da área, SAN JOSÉ *et al.* (1998) indicaram um aporte líquido de 42,05 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ para a biomassa total (acima e abaixo) na região de Calabozo, Venezuela, para os 8 primeiros anos, sendo 27,6 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ apenas para a biomassa acima do solo (rasteira e arbórea). Este é um valor próximo do incremento determinado apenas para a média arbórea (viva e morta) ponderada de estoque de carbono em Roraima (27,8 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$) levando em consideração a taxa de incremento de carbono dos três primeiros anos (0,036) da área protegida (MC).

Ambos os valores traçam o perfil de áreas sob isolamento que determinam o potencial de seqüestro de carbono por sistemas de vegetação aberta. Entretanto, esta é uma realidade diferente daquela ocasionada ano a ano nas savanas globais que se submetem a diferentes freqüências de fogo e área queimada. Em adição, além do problema do aporte líquido de carbono pela vegetação, todos os trabalhos que versam sobre seqüestro e emissão de gases por sistemas de savana se recentem de complementação com dados sobre o comportamento do solo como fonte emissora ou receptora de gases-traco (POTH *et al.*, 1995; ANDERSON & POTH, 1998) ou da biomassa de raízes como um importante reservatório de carbono (ABDALA *et al.*, 1998; SAN JOSÉ *et al.*, 1998). Ambos, em geral, vem sendo sonegados do balanço geral em savanas na maioria dos trabalhos. Entretanto, o somatório de todos estes compartimentos em situações realísticas é que caracteriza o incremento líquido (-/+) geral e, dá suporte aos cálculos globais deste tipo de vegetação no mundo.

O resultado aqui obtido para dinâmica de carbono acima do solo em ambientes sem a troca do uso da terra é preliminar e necessita de uma maior série de tempo para avaliar melhor os parâmetros de cálculo (principalmente de Sp e Tp

que tiveram suas taxas de incremento estimadas a partir de Sg). Entretanto, é possível sugerir que na manutenção dos atuais níveis de atividades antrópicas, as savanas locais possam estar sendo uma fonte líquida de carbono para a atmosfera tanto na forma de gases-traço como também de $CO_2$. A eliminação de indivíduos jovens e o impacto na redução das taxas de incremento de biomassa e carbono arbóreo não permitem que as savanas façam o papel inverso de seqüestro de $CO_2$ na mesma velocidade com que é emitido. Isto permite o avanço da massa rasteira até o seu limite de suporte que, por sua vez, não consegue cobrir o déficit da massa arbórea perdida. Portanto, seria importante rever as sugestões do IPCC (1997) que preconizam a eliminação do $CO_2$ nos cálculos de emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera em ambientes de savana. Este tipo de vegetação possui apenas uma forma e um tempo diferente de responder às mudanças climáticas e antrópicas que permeiam seus componentes vegetais (arbóreos e rasteiros).

### 6.3.4 Sensitividade e Validação

Uma análise de sensitividade pôde ser induzida diretamente dos resultados do Cenário Atual pela interferência no total de área queimada anualmente entre as três paisagens estudadas (Sg, Sp e Tp). As trocas nestes parâmetros inciais produzem efeitos positivos ou negativos em ambos os componentes vegetacionais (arbóreo e rasteiro) independente das taxas de incremento.

Eu também enfatizo aqui, que a flutuação da população de árvores sobreviventes e sua correspondente massa de carbono em paisagens sem a troca do uso da terra, como concebido neste trabalho, acaba sendo também função do número de anos favoráveis ao seu estabelecimento e perpetuação no sistema. Neste estudo, as taxas de incremento (-/+) são diferenciadas por estas condições. Portanto, a biomassa cresce mais rápido e predomina durante mais tempo quanto mais “protegido” são seus indivíduos juvenis e plântulas dentro da característica personalizada de cada paisagem. Entretanto, diferenciar estas taxas apenas em função do aumento ou da redução do número de anos secos, úmidos e normais

pareceu pouco racional dentro do período de 100 anos que a simulação esta se detendo (devido à análise pelo potencial de aquecimento global - GWP). Alterações significativas na proporção aqui assumida devem apenas ser sentidas em espaços de tempo maiores do que o estabelecido neste estudo. Por isso, o lógico seria relacioná-las como uma função da quantidade de área queimada visto ser menos provável errar tais estimativas do que as de taxas mínimas e máximas de incremento. Para tanto, eu montei o Cenário Alternativo 1 com uma **redução** de 10% na área queimada e, o Cenário Alternativo 2, com um **aumento** de 10% na área queimada.

O Cenário 1 indicou um acréscimo líquido de 1,27 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$. Entretanto, a maioria explicado pelo incremento na massa rasteira (1,73 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$) visto que a massa de carbono do componente arbóreo continuou apresentando uma redução anual (-0,47 kg $C.ha^{-1}$). O Cenário 2 reduziu seus estoques de carbono arbóreo em -4,47 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ e elevou os de rasteira em 0,85 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ (total geral = -3,62 kg $C.ha^{-1}.ano^{-1}$). Ambos os cenários indicam que é necessário uma forte redução na porcentagem de área queimada anualmente para que os estoques de carbono, principalmente do componente arbóreo, sejam estabilizados ou recompostos do ponto de visto do seqüestro líquido de carbono da atmosfera. Pequenas reduções proporcionam apenas um aporte líquido maior de massa rasteira que toma o espaço do componente arbóreo não-estabelecido. Entretanto, a biomassa rasteira possui uma capacidade máxima de absorver carbono menor (1.518 kg $C.ha^{-1}$) do que a arbórea (80.673 kg $C.ha^{-1}$) nestas áreas, considerando as estimativas de teto máximo que ambos os componentes podem alcançar como média ponderada nestes três sistemas de Roraima (Sg, Sp, Tp).

Uma análise mais realística sobre a sensitividade do modelo deveria levar em conta a adoção de fortes políticas públicas que adentrem no problema das áreas queimadas e na troca do uso da terra nas savana em Roraima. Esta variável (políticas públicas) é de difícil percepção e não foi contemplada neste estudo. Entretanto, o modelo pode ser melhorado pela captação de um maior volume de informações (principalmente em Sp e Tp) para realizar simulações com menor grau de incertezas para sua validação.

## 6.4 Conclusões

(1) Sistemas de savanas, sem a troca do uso da terra, sofrem alteração na estrutura e na quantidade de biomassa e carbono acima do solo em função da ausência ou presença do fogo, da freqüência de queima nas áreas atingidas e das condições climáticas favoráveis e/ou desfavoráveis ao desenvolvimento do componente arbóreo que, por sua vez, acabam influenciando no total por unidade de área;

(2) Modelos de emissão e/ou seqüestro de carbono por sistemas de savanas devem adotar parâmetros de cálculos mais realistas que prevejam diferentes taxas de incremento (-/+) sendo influenciadas pela diversidade das ações antrópicas e ambientais para cenários atuais e futuros. Taxas pontuais, utilizadas em modelos exclusivamente determinísticos, traçam perfis distorcidos da realidade;

(3) A adoção de uma taxa líquida geral de incremento deve ser particionada por todos os compartimentos que influenciam no fluxo de carbono destes sistemas por diferentes processos (solo, vegetação acima e abaixo do solo, decomposição, herbivoria).

(4) A proporção de biomassa/carbono acima do solo entre componentes rasteiros e arbóreos fica sujeito a quantidade de área queimada que, por sua vez, influencia nos demais parâmetros de avaliação (p. ex. freqüência das queimadas) provocando flutuações positivas ou negativas no estoque total do sistema.

# Capítulo 7

# Estimativa da Emissão de Gases do Efeito Estufa ($CO_2$ e gases-traço) e do Material Particulado

As estimativas globais sobre queima de biomassa e emissão de gases por fogos em savanas eram, até bem pouco tempo atrás, realizadas por escassos estudos que transportavam a maioria das investigações do continente africano para dentro de outros continentes como o sul americano (cf HAO *et al.*, 1990). As investigações nacionais mais especializadas do final da década de 1980 e início de 1990 (p. ex. BASE-A, BASE-B, TRACE-A e SCAR-B) sobre as taxas de emissão molar e os fatores de emissão dos diferentes gases liberados pela queima da biomassa, principalmente nos cerrados do Brasil Central, iniciaram uma forte tendência em computar o maior volume de dados possíveis para as estimativas regionais e nacionais e, por fim, acoplá-las aos estudos globais. Entretanto, as poucas estimativas compreensíveis (ver FEARNSIDE, 1992 ; 1997a para cerrados com troca do uso da terra e SCHROEDER & WINJUM, 1995 para cerrados com/sem a troca do uso da terra) ainda não permitem uma franca avaliação das emissões de gases do efeito estufa pela queima e decomposição da biomassa de savanas no Brasil. Isto é devido, principalmente, à falta (1) da utilização de uma mesma base de dados e (2) de uma conexão entre os resultados dos diferentes estudos que, fracionam as informações sob diferentes metodologias, mas não as acoplam a um objetivo comum. Isto dá margem a erros de interpretação sobre o fluxo de gases nestes sistemas pela discrepância entre os parâmetros iniciais de cálculo.

Primariamente, os gases do efeito estufa emitidos pela queima da biomassa acima do solo em savanas e que possuem algum efeito (direto ou indireto) na química atmosférica são o $CO_2$ (gás carbônico), $CH_4$ (metano), $N_2O$ (óxido nitroso), $NO_x$ ($NO + NO_2$ = gases nitrogenados), HCNM (hidrocarbonos de forma não-metânica) e CO (monóxido de carbono) (ver ANEXO VI). Além destes, há

o material particulado que é emitido juntamente com as nuvens de fumaça na forma de aerosois (fuligem, carbono grafítico, etc.) e que pode afetar o balanço energético do binômio biosfera-atmosfera pela ação na radiação solar e na microfísica das nuvens (WARD *et al.* ,1992).

Neste capítulo, eu vou me deter tanto na emissão anual dos gases (bruta e líquida) como também na liberação do material particulado total (MPT) pela queima da biomassa acima do solo nas savanas de Roraima dentro do decênio de 1990. Para tanto, eu vou levar em consideração os dados anteriormente determinados de destino anual do carbono e o modelo de dinâmica regional para Roraima. Ao final, eu vou realizar um exercício que envolve as emissões regionais por savanas amazônicas sem a troca do uso da terra, no intuito de estimar a emissão de $CO_2$, gases-traço e MPT pela queima de biomassa nestes ambientes tropicais.

## 7.1 Metodologia

Para determinação da emissão dos gases do efeito estufa como aqui definidos, eu fiz uma revisão literária similar a que DELMAS *et al.* (1995), HELAS (1995) e SCHOLES & ANDREAE (2000) realizaram com destaque para o continente africano. Para tanto, eu verifiquei as informações dos trabalhos científicos mais recentes (1980 em diante) que implementaram esforços no sentido de determinar as taxas de emissão molar e/ou os fatores de emissão de cada gás liberado pela queima da biomassa acima do solo em savanas (TABELA 28 e TABELA 29).

Por definição, ***taxa de emissão molar*** de um gás, é a proporção (massa/massa) do elemento emitido por um outro já determinado (em geral o $CO_2$) e, ***fator de emissão*** é a quantidade em peso do gás liberado por uma unidade de peso qualquer de biomassa seca eliminada pelo fogo (g do gás / kg de biomassa seca consumida). Em se tratando do material particulado, o uso do fator de emissão pode sofrer uma alteração e, ser aplicada a função entre o peso do material e a

TABELA 28 - Revisão dos fatores de emissão ($g.kg^{-1}$) dos gases e do material particulado liberados por queimas em savanas.

| Continente | Fatores de Emissão**(1)** | | | | | | | Paisagem | Localidade | Projeto | Autor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CC_2$ | CO | $CH_4$ | HCNM | $N_2O$ | $NC_x$ | TPM | | | | |
| **BRASIL** | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 12 | Mixado (florestas/cerrados) | Brasil | ABLE 2A | Andreae et al. (1988) |
| | 1783 | 24.5 | 0.56 | | | | | Cerrado | Brasil Central | BASE A | Ward et al. (1991) e Kaufman et al. (1992) |
| | 1698 | 69 | 1.2 | | | | | Campo Cerrado | Brasil Central | BASE-B | Ward et al. (1992) |
| | 1723 | 57.5 | 1.3 | | | | | Cerrado Senso Strictu | Brasil Central | BASE-B | Ward et al. (1992) |
| | 1745 | 48.5 | 1.4 | | | | | Campo Limpo | Brasil Central | BASE-B | Ward et al. (1992) |
| | 1687 | 49.1 | 1.6 | | | | 16 | Capim (pastagem) | Brasil | SCAR-B | Recalculado de Ferek et al. (1998)**(3)** |
| | 1689 | 50.0 | 1.9 | | | | 9.6 | Cerrado | Brasil | SCAR-B | Recalculado de Ferek et al. (1998)**(3)** |
| **Média (2)** | **1721** | **49.77** | **1.311** | ***2.120*** | ***0.115*** | ***4.108*** | **12.53** | | | | |
| **AFRICA** | | | | | | | | | | | |
| | 1701 | 76 | 2.5 | 2.7 | | | | Média (n=13) | Afr. do Sul/Zâmbia | SAFARI-92 | Ward et al. (1996) |
| | 1370 | | 1.65 | | | | | Experimental e Campo | Afr/Central | TROPOZ I | Delmas et al. (1991b) |
| | 1610 | 55 | 3 | 3 | 0.16 | | | Savana parque | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Cofer et al. (1996) |
| | 1680 | 88.1 | 3.145 | | | | | Arbórea úmida | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1732 | 57.4 | 1.723 | 2.16 | | | | Graminosa úmida | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1761 | 42 | 0.947 | 1.06 | | | | Arbórea úmida (descanso) | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1649 | 106.8 | 3.135 | 3.73 | | | | Arbórea árida | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | | 92.5 | 3.15 | 3.5 | | | | Savana graminosa (Dambo) | Afr/Zâmbia | | Hoffa et al. (1999) |
| | 1729 | 60 | 1.779 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1652 | 100.4 | 4.692 | 3.76 | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1686 | 83.8 | 3.083 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1643 | 104.5 | 4.559 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1735 | 57.9 | 1.364 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1720 | 67 | 1.472 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1714 | 68.8 | 1.955 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1695 | 79.2 | 2.276 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 1713 | 69.4 | 1.867 | 2.75 | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |

CONTINUA ...

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1640 | 68 | 2.05 | | | 4.75 | | Savanas Africanas | Geral | EXPRESSO | Skoles et al. (1996) |
| | 1523 | 92 | 3 | | | 6 | | Savana Infertil | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | 1523 | 92 | 3 | | | 6 | | Savana Fértil | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | 1524 | 73 | 2 | | | 5 | | Arbustiva Arida | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | 1524 | 73 | 2 | | | 5 | | Graminosa Desertica | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | 1519 | 127 | 5 | | | 9 | | "Fynbos" | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | 1498 | 59 | 2 | | | 4 | | Campo Limpo Infertil | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | 1540 | 97 | 3 | | | 7 | | Campo Limpo Fertil | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | 1554 | 58 | 2 | | | 4 | | Terras úmidas | Africa (média) | | Scholes (1995) |
| | | 68 | 2.05 | | | 4.75 | | Savanas | sul da África | SAFARI-92 | Scholes et al. (1996) |
| | | 78 | 2.55 | | | 5.5 | | Campos | sul da África | SAFARI-92 | Scholes et al. (1996) |
| | 1640 | 65 | 2.4 | 3.1 | 0.15 | | 10 | Savanas Africanas | Africa | Média Geral | Scholes & Andrea (2000) |
| **Média** | **1626** | **77.10** | **2.53** | **2.862** | **0.155** | **5.545** | **10.0** | - | - | - | - |

(1) Fator de Emissão (g/kg) = por definição, fator de emissão de um gás é calculado pela divisão da massa da emissão pelo combustível consumido e, é expresso em unidades de gramas de emissão liberadas por kg de combustível consumido. Para o MPT, o fator de emissão é calculado como gramas do material emitido pelo total de carbono consumido (liberado).
(2) Ver forma de cálculo de HCNM, $N_2O$ e $NO_x$ no ANEXO VI.
(3) Os valores de Ferek foram recalculados em função das unidades de cálculo utilizadas neste estudo serem diferentes daquelas adotadas pelo autor (g C.kg C queimado$^{-1}$)

TABELA 29 - Revisão das taxas de emissão molar dos gases e do material particulado liberados por queimas em savanas.

| Continente | Taxas de Emissão Molar (em volume) (1) | | | | | | Paisagem | Localidade | Projeto | Autor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CO/CO_2$ | $CH_4/CO_2$ | HCNM/$CO_2$ | $N_2O/CO_2$ | $NO_x/CO_2$ | PM/$CO_2$ | | | | |
| **BRASIL** | | | | | | | | | | |
| | 0.085 | | | | 0.00208 | | Mixado (florestas/cerrados) | Brasil | ABLE 2A | Andreae et al. (1988) |
| | 0.113 | 0.006 | 0.011 | | | 0.0095 | Cerrado brasileiro (MT / DF) | Brasil Central | | Greenberg et al. (1984) |
| | 0.121 | 0.008 | 0.011 | 0.000180 | 0.0019 | | Cerrado brasileiro (MT / DF) | Brasil Central | | Crutzen et al. (1985) |
| | 0.014 | 0.0003 | | | | 0.0025 | Cerrado | Brasil Central | BASE-A | Kaufman et al. (1992) |
| | 0.044 | 0.023 | | | | 0.001 | Média de 4 ambientes | Brasil Central | BASE-B | Ward et al. (1992) |
| | 0.037 | 0.0062 | | | | | Mixado (agri/flor/cerr) | Brasil | TRACE-A | Blake et al. (1996) |
| **Média** | **0.069** | **0.0087** | **0.011** | **0.00018** | **0.00199** | **0.00433** | | | | |
| **AUSTRÁLIA** | | | | | | | | | | |
| | 0.058 | 0.0039 | 0.0099 | 0.000046 | 0.0016 | | Savanas Australianas | Australia | | Hurst et al. (1994a) |
| | 0.09 | 0.0042 | 0.0099 | 0.000046 | 0.0021 | | Savanas Australianas | Australia | | Hurst et al. (1994b) |
| **Média** | **0.074** | **0.00405** | **0.0099** | **0.000046** | **0.00185** | | | | | |
| **AFRICA** | | | | | | | | | | |
| | 0.1104 | 0.0054 | 0.0081 | | | | Sav. graminosa | Afr/Costa do Marfim | | Bonsang et al (1991 ; 1995) |
| | | | | | 0.0014 | | Savanas Africanas | Afr/Costa do Marfim | | Delmas et al. (1991b) |
| | 0.0417 | 0.00313 | | | | | Sav. graminosa | Afr/Costa do Marfim | | Lambert et al. (1991) |
| | 0.053 | 0.0029 | | 0.000180 | | | Savanas Africanas | Afr/Costa do Marfim | FOS/DECAFE-91 | Helas et al. (1995) |
| | 0.1 | 0.012 | 0.01 | 0.000050 | 0.0016 | | Savanas (em geral) | Afr/Nigéria | | Akeredolu & Isichei (1991) |
| | 0.0427 | 0.0023 | 0.0051 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |
| | 0.0637 | 0.0034 | 0.0089 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |
| | 0.0523 | 0.0032 | 0.0069 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |
| | 0.0586 | 0.0035 | 0.007 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |
| | 0.0551 | 0.0028 | 0.0066 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |
| | 0.0415 | 0.001 | 0.0076 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |
| | 0.0526 | 0.0028 | 0.0067 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |
| | 0.0568 | 0.0032 | 0.0099 | | | | Savanas (em geral) | Afr/sul da África | SAFARI-92 | Koppmann et al. (1997) |

CONTINUA ...

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.082 | | | | | Arbórea úmida | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.052 | | | | | Graminosa úmida | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.037 | | | | | Arbórea úmida (descanso) | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.102 | | | | | Arbórea árida | Afr/Zâmbia | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.055 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.096 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.078 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.1 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.052 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.061 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.063 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.073 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.064 | | | | | Savana parque | Africa do Sul | SAFARI-92 | Shea et al. (1996) e Ward et al. (1996) |
| | 0.061 | 0.0031 | 0.007 | 0.000145 | 0.00137 | Savana Guianense | Afr/Costa do Marfim | FOS-DECAFE | Delmas et al. (1995) e Lacaux et al. (1995) |
| | 0.057 | | | | | Savanas Africanas | Africa do Sul | SAFARI-92 | Canut et al. (1996) |
| | 0.062 | 0.0051 | | | | Savanas Africanas | Africa | TRACE-A | Blake et al. (1996) |
| | 0.062 | 0.004 | 0.006 | 0.00009 | | Savanas Africanas | Africa | Média Geral | Scholes & Andrea (2000) |
| **Média** | **0.065** | **0.00386** | **0.0074833** | **0.000116** | **0.00146** | - | - | - | - |

(1) Taxa de Emissão Molar = porcentagem (massa/massa) de um elemento ou composto pelo outro.

massa de carbono consumida (g MPT / kg C consumido).

No levantamento eu apenas me utilizei dos trabalhos originais e não adotei nenhuma estimativa fora dos procedimentos e/ou levantamentos diretos de campo de cada autor. Eu selecionei diferentes trabalhos da África, Austrália e do Brasil. Entretanto, para o cálculo das emissões regionais de Roraima e depois para a Amazônia, eu me orientei unicamente pelos valores médios determinados para o Brasil visto que a diferença entre os valores africanos, por exemplo, poderia determinar uma variação indesejável ao trabalho. Esta variação, provavelmente, é afetada pelo desequilíbrio entre fases de combustão completa e incompleta determinadas para os diferentes continentes devido a variações na composição estrutural da vegetação. Portanto, as demais médias continentais eu utilizei apenas como um fator de comparação e exemplificação.

Como complemento, eu saliento que desconsiderei possíveis diferenças que os fatores climáticos (umidade relativa, precipitação, etc.) pudessem ter nos índices aqui levantados, visto que a maioria dos levantamentos em savanas brasileiras foram realizados no Brasil Central. Esta região, por exemplo, possui uma umidade relativa do ar abaixo das médias gerais de Roraima (ver Capítulo 2) e da Amazônia como um todo. Embora isto pudesse modificar a umidade do material combustível, eu considerei que isto não afetaria substancialmente a proporção do tipo de queima realizado nas fases completa (flaming) e incompleta (smoldering) do material. Aqui é importante enfatizar que no caso de savanas (vegetação aberta), o limite crítico que transforma o material combustível inflamável neste tipo de sistema é rapidamente atingido com o início do período seco. A continuação dos fatores cllimáticos que favorecem este estágio tende a interferir no alastramento da área queimada, visto que o material já esta previamente susceptível ao fogo. A troca de proporção entre as fases de queima completa e incompleta esta mais ligada ao tipo de material combustível que é analisado (p. ex. florestas). Logo, a adoção dos valores aqui apresentados tendem a traduzir uma situação muito próxima do real como média para as savanas brasileiras.

Em adição, embora o IPCC (1997) recomende o uso das taxas de

emissão para os cálculos e eu tenha revisado ambas as possibilidades (taxa e fator), eu adotei os fatores de emissão como forma de determinação do total emitido devido à melhor consistência dos valores apresentados pelos autores. As taxas de emissão molar para cerrados do Brasil apresentavam índices com muita variabilidade entre si (principalmente CO e $CH_4$) devido à diferenças na metodologia de coleta de informação em campo (p. ex. análise de nuvens de fumaça em altas altitudes contrastando com coletas de solo). Isto poderia causar dúvidas excessivas no resultado final do trabalho.

Como eu não encontrei dados citados para fatores de emissão brasileiros para HCNM[(1)], $NO_x$ e $N_2O$, eu fiz uso de uma ponderação proporcional entre os valores confiáveis do Brasil ($CO_2$, $CH_4$ e CO) com os de HCNM, $N_2O$ e $NO_x$ do continente africano para tentar conjugar médias razoáveis de fatores de emissão para estes gases não listados (ver ANEXO VII). Novamente, eu não fiz uso das taxas de emissão molar (onde haviam dados originais para o Brasil) devido a falta de trabalhos que produzissem médias confiáveis do ponto de vista da aceitação matemática (repetição e uso de mesma metodologia atualizada de coleta de informação).

A título de ilustração, no caso da aplicação das taxas de emissão molar, eu teria que fazer uso de uma estimativa da ***eficiência de combustão*** (EC) de cada paisagem como preconizado pelo IPCC (1997). A EC descreve a porcentagem de carbono do material vegetal queimado que é convertida para $CO_2$ (WARD & HARDY, 1991). Ou seja, ela exprime a quantidade de carbono que é lançada na atmosfera na forma de gás carbônico. Neste trabalho, embora eu não faça uso das taxas de emissão para os cálculos gerais, eu exercitei a determinação da EC pelo método de WARD *et al.* (1992 ; 1996) que sugere a divisão do total da biomassa do “capim” pelo somatório do “capim + litter” de cada paisagem (Sg = 0,9541 ; Sp = 0,9546 ; Tp = 0,9541). Além disto, para determinação dos gases à

---

(1) Existem dados de fator de emissão para $NO_x$ e HCNM citados por FEREK *et al.* (1998), dentro do projeto SCAR-B. Por exemplo, os valores citados para HCNM são de 6 g C.kg C queimado$^{-1}$ (capim) e 7 g C.kg C queimado$^{-1}$ (cerrado). Entretanto, a transformação destes valores nas unidades utilizadas neste estudo (g do gás / kg de combustível consumido) ultrapassavam, em muito, uma média dentro dos valores aceitáveis para este grupo de elementos. Portanto, eu assumi a retirada dos valores de Ferek e a utilização das estimativas relatadas no Anexo VII para evitar dúvidas e erros excessivos ao trabalho.

base de nitrogênio, eu também teria que usar a relação N/C para obter a real participação do nitrogênio dentro do processo de queima e emissão. O IPCC (1997) usa o valor “default” de 0,01. Para as savanas de Roraima eu determinei um valor muito próximo a este (0,011) que poderia ser usado no caso da utilização das taxas de emissão molar como ponte de cálculo para os gases do efeito estufa em savanas regionais (ver ANEXO VIII).

Realizadas estas diferenciações, eu me utilizei das médias individuais de cada sistema analisado (biomassa, carbono, área queimada, fator de combustão) para determinar a emissão anual bruta de cada um deles em Roraima dentro do decênio 1990-99. Com estas condições satisfeitas, eu realizei um exercício com todos os sistemas “não-florestais” da Amazônia para tentar produzir uma estimativa sobre a emissão de gases e partículas destes sistemas em ambientes sem a troca do uso da terra e apenas para a biomassa acima do solo. Para tanto, eu me utilizei de diferentes fontes bibliográficas para determinar uma média razoável dos parâmetros de cálculo para todos os sistemas. Aqueles em que não foi possível determinar pela busca literária, eu estimei a partir dos resultados de campo deste estudo em tela.

Na continuação dos cálculos eu também fiz uso dos potenciais de aquecimento global (GWP - global warming potential) do IPCC em um horizonte de tempo de 100 anos (SCHIMEL *et al.*, 1996) para dar peso diferenciado a cada gás emitido devido a seus diferentes efeitos na atmosfera. Neste procedimento eu não fiz uso de cenários de alta e baixa emissão de gases-traço.

## 7.2 Resultados

### 7.2.1 Estimativa para Roraima (Sg, Sp e Tp)

Levando em consideração a década de 1990, as três savanas estudas em Roraima liberaram para a atmosfera neste decênio um total bruto anual de 6,348 ± 0,146 x $10^6$ t **$CO_2$**, 0,005 ± 0,002 x $10^6$ t **$CH_4$**, 0,184 ± 0,057 x $10^6$ t **CO**, 0,008 ±

0,002 x $10^6$ t **HCNM**, 0,00042 ± 0,00023 x $10^6$ t **$N_2O$**, 0,015 ± 0,004 x $10^6$ t **$NO_x$**, além de 0,019 ± 0,012 x $10^6$ t **MPT** (TABELA 30). Estas emissões são relativas ao afetamento do fogo na biomassa acima do solo em ambientes que não sofreram a troca do uso da terra.

### 7.2.2 Estimativa para a Amazônia

A TABELA 31 apresenta a base para o cálculo (biomassa e carbono) das emissões de gases do efeito estufa e material particulado total para todos os sistemas considerados “não-florestais” da Amazônia, incluindo nesta avaliação os sistemas oligotróficos (campinas e campinaranas) e os pioneiros. Ela foi derivada da TABELA 17 e de estudos de revisão e/ou individuais realizados na própria região ou em paisagens semelhantes de cerrados do Brasil Central. Dos 14 ambientes avaliados, 9 são referentes à denominação pura de sistemas de savanas, 3 são definidos como oligotróficos e 2 como formações pioneiras (tipo manguezais costeiros ou sistemas semelhantes de terras interiores).

Os resultados indicam que a massa de carbono total afetada anualmente por fogos na década de 1990 na Amazônia foi de 121 x $10^6$ t C para todos estes sistemas. Deste universo, a estimativa de liberação para a atmosfera foi de 65,8 x $10^6$ t C.ano$^{-1}$, enquanto que a de depósito de longo prazo (material particulado na forma de cinzas sobre o solo) foi de 3,3 x $10^6$ t C.ano$^{-1}$. O restante resultou em biomassa morta (4,0 x $10^6$ t C.ano$^{-1}$) ou permaneceu como biomassa viva (47,7 x $10^6$ t C.ano$^{-1}$).

TABELA 30 - Total de gases e material particulado emitidos anualmente de forma bruta, pela queima da biomassa acima do solo em três ambientes de savana (Sg, Sp e Tp) do norte / nordeste de Roraima (base: década de 1990).

| Material Liberado | Emissão por Tipo de Paisagem | | | | Método (1) | Forma do Cálculo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sg $t \times 10^6$ | Sp $t \times 10^6$ | Tp $t \times 10^6$ | Total $t \times 10^6$ | | |
| **Gases** | | | | | | |
| $CO_2$ | **2.137** *(2.088 a 2.186)* | **2.200** *(2.149 a 2.250)* | **2.011** *(1.964 a 2.057)* | **6.348** *(6.202 a 6.494)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| $CH_4$ | **0.0016** *(0.001 a 0.002)* | **0.0017** *(0.001 a 0.002)* | **0.0015** *(0.001 a 0.002)* | **0.0048** *(0.003 a 0.006)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| CO | **0.0618** *(0.043 a 0.080)* | **0.0636** *(0.044 a 0.083)* | **0.0582** *(0.040 a 0.076)* | **0.1836** *(0.127 a 0.240)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| HCNM | **0.0026** *(0.002 a 0.003)* | **0.0027** *(0.002 a 0.003)* | **0.0025** *(0.002 a 0.003)* | **0.0078** *(0.005 a 0.010)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| $N_2O$ | **0.00014** *(0.00006 a 0.0002)* | **0.00015** *(0.00006 a 0.0002)* | **0.00013** *(0.00006 a 0.0002)* | **0.00042** *(0.0002 a 0.0007)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| $NO_x$ | **0.00510** *(0.004 a 0.009)* | **0.00525** *(0.004 a 0.006)* | **0.00480** *(0.003 a 0.005)* | **0.01516** *(0.011 a 0.019)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| **Partículas** | | | | | | |
| MPT | **0.00585** *(0.002 a 0.009)* | **0.00669** *(0.002 a 0.011)* | **0.00638** *(0.002 a 0.010)* | **0.01892** *(0.006 a 0.031)* | FE (g/kgC) | (FE/1000) x Carbono Liberado (t) |

(1) FE = Fator de emissão (razão do gás emitido em 'g' pelo combustível consumido em 'kg'). Para MPT, por kg de carbono liberado.
(2) Valores entre parenteses representam os limites (superior e inferior) de confiança proporcionados pelo cálculo do desvio padrão da média (SE) dos fatores de emissão de gases e partículas da Tabela 28, em conjunto com o intervalo de confiança de cada um deles : $CO_2$ = 1721 ± 36,9 ; $CH_4$ = 1,31 ± 0,45 ; CO = 49,8 ± 15,4 ; HCMN = 2,12 ± 0,656 ; $N_2O$ = 0,115 ± 0,064 ; $NO_x$ = 4,11 ± 0,98.

TABELA 31 - Estimativa do estoque de biomassa/carbono acima do solo e do destino do carbono no pós-queima nas áreas de vegetação aberta da Amazônia Legal Brasileira que ainda não sofreram a troca do uso da terra (base: decênio de 1990).

| Tipo Paisagístico | Área Total | Área Líquida sem troca do uso da terra | Área Atingida Anualmente | | Estoque Total Acima do Solo (sem troca do uso) | | | Biomassa | | Carbono Atingido | Destino do Carbono | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Biomassa | | Carbono | Atingida | Eliminada | | Biomassa | | Mat. | Liberado |
| | | | | | | | | | | | Viva | Morta | Particulado | Atmosfera |
| | km $^2$ | km $^2$ | % | km $^2$ | t/ha | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t | $10^6$ t |
| **Pioneiros** | | | | | | | | | | | | | | |
| Pa | 81042 | 77900 | 19.0 | 14818 | 25.0 | 194.85 | 87.68 | 37.06 | 14.39 | 16.68 | 6.58 | 0.55 | 0.46 | 9.08 |
| Pf | 7806 | 7503 | 19.0 | 1427 | 25.0 | 18.77 | 8.45 | 3.57 | 1.39 | 1.61 | 0.63 | 0.05 | 0.04 | 0.87 |
| **Oligotróficos** | | | | | | | | | | | | | | |
| Ld | 48372 | 46496 | 19.0 | 8844 | 47.6 | 221.44 | 100.49 | 42.12 | 21.14 | 19.11 | 7.54 | 0.64 | 0.53 | 10.41 |
| La | 15949 | 15331 | 19.0 | 2916 | 38.8 | 59.47 | 25.54 | 11.31 | 6.07 | 4.86 | 1.92 | 0.16 | 0.13 | 2.65 |
| Lg | 19430 | 18677 | 47.0 | 8786 | 17.4 | 32.45 | 13.15 | 15.27 | 8.73 | 6.19 | 2.44 | 0.21 | 0.17 | 3.37 |
| **Savanas** | | | | | | | | | | | | | | |
| rm | 390 | 377 | 1.8 | 7 | 3.4 | 0.13 | 0.05 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 |
| Sa | 343982 | 179542 | 42.7 | 76711 | 14.7 | 263.09 | 116.67 | 112.41 | 22.04 | 49.85 | 19.67 | 1.66 | 1.38 | 27.15 |
| Sd | 30119 | 15721 | 42.7 | 6717 | 22.6 | 35.47 | 15.73 | 15.15 | 1.93 | 6.72 | 2.65 | 0.22 | 0.19 | 3.66 |
| Sg | 38141 | 13847 | 46.3 | 6406 | 5.1 | 7.03 | 3.02 | 3.25 | 2.92 | 1.40 | 0.55 | 0.05 | 0.04 | 0.76 |
| Sp | 179647 | 65222 | 47.8 | 31186 | 8.0 | 52.50 | 25.01 | 25.10 | 21.58 | 11.96 | 4.72 | 0.40 | 0.33 | 6.51 |
| ST | 6599 | 2481 | 42.7 | 1060 | 18.6 | 4.62 | 2.05 | 1.97 | 0.30 | 0.87 | 0.35 | 0.03 | 0.02 | 0.48 |
| Ta | 168 | 162 | 1.8 | 3 | 25.8 | 0.42 | 0.19 | 0.007 | 0.001 | 0.003 | 0.0013 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0018 |
| Td | 1550 | 1498 | 1.8 | 26 | 29.0 | 4.34 | 1.76 | 0.08 | 0.01 | 0.03 | 0.012 | 0.001 | 0.001 | 0.017 |
| Tp | 10671 | 9951 | 57.6 | 5734 | 6.6 | 6.55 | 2.75 | 3.78 | 1.65 | 1.58 | 0.62 | 0.05 | 0.04 | 0.86 |
| **Total** | **783866** | **454707** | **36.3** | **164642** | - | **901** | **403** | **271** | **102** | **121** | **47.7** | **4.0** | **3.3** | **65.8** |

(1) Classificação tipológica e área total estão descritos na Tabela 3, IBGE (1992), GRAÇA (1997) e FEARNSIDE (1997);

(2) Biomassa : (a) Sd e Pa foram derivados de GRAÇA (1997) e Pf foi assumido o mesmo valor; (b) Ld, La, rm e Td - assumindo os valores de BARBOSA & FEARNSIDE (1999); (c) Lg é uma conjugação dos valores de GRAÇA (1997) e BARBOSA & FEARNSIDE (1999); (d) Sg e Sp é uma conjugação dos resultados de CASTRO & KAUFFMAN (1998), KAUFFMAN et al. (1994), MIRANDA et al. (1996) e ABDALA et al. (1998) para as regiões do MT, RO, TO e MA e, deste estudo para as regiões do AP, PA, AM e RR; (e) Sa, estimado a partir dos resultados de KAUFFMAN et al. (1994) para Campo Cerrado; (f) ST, assumido como a média entre Sa e Sd; (g) Td foi calculado por Barbosa & Fearnside (1999) e Tp por este estudo; (h) Ta foi assumida como uma média entre Sd e Td.

(3) Fator de Combustão (embutido na "biomassa eliminada") foi todo proporcionalizado pelos resultados dos autores acima citados.

(4) % Carbono (embutida no estoque de carbono) foi obtido através da médias deste estudo com os resultados de KAUFFMAN et al. (1994), BARBOSA & FEARNSIDE (1999) e de OLSON et al. (1983), citado por GRAÇA (1997), para Pa.

(5) Área Atingida anualmente : (a) Sa, Sd e ST foram uma ponderação sobre os resultados obtidos neste estudo; (b) Pa, Pf, Ld, La, rm, Ta e Td foram uma estimativa baseada nos resultados obtidos nas queimadas de 1997/98, em Roraima, por BARBOSA & FEARNSIDE (1999); (c) Sg e Sp foram determinados através de uma ponderação, em área, com os valores obtidos neste estudo e a presunção de 50% de área queimada para a Amazônia localizada na região do Brasil Central.

(6) Taxas de alteração (embutidas em área líquida "sem troca do uso da terra") foram obtidas através dos resultados publicados pelo INPE (2000), para 1995-98, considerando três ambientes: não-floresta, pioneira e cerradão. Estes valores foram associados às estimativas determinadas neste estudo, com as presunções assumidas por KLINK & MOREIRA (2000) para o Brasil Central.

Da mesma forma como levantado exclusivamente para Roraima, a estimativa do total bruto de gases liberados anualmente para a atmosfera por toda a década de 1990 pelos sistemas de áreas abertas na Amazônia, sem a troca do uso da terra, foi de 175,8 ± 4,0 x $10^6$ t **$CO_2$**, 0,134 ± 0,046 x $10^6$ t **$CH_4$**, 5,084 ± 1,569 x $10^6$ t **CO**, 0,217 ± 0,067 x $10^6$ t **HCNM**, 0,012 ± 0,006 x $10^6$ t **$N_2O$**, 0,420 ± 0,099 x $10^6$ t **$NO_x$**, além de 0,825 ± 0,529 x $10^6$ t **MPT** (TABELA 32 ).

TABELA 32 - Total de gases bruto e material particulado emitidos anualmente pela queima de diferentes sistemas de savana na Amazônia Brasileira (base : década de 1990).

| Material Liberado | Emissão Total t x $10^6$ | Método (1) | Forma do Cálculo |
|---|---|---|---|
| **Gases** | | | |
| $CO_2$ | **175.8** *(171.7 a 179.8)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| $CH_4$ | **0.134** *(0.087 a 0.180)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| CO | **5.084** *(3.516 a 6.653)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| HCNM | **0.217** *(0.150 a 0.283)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| $N_2O$ | **0.012** *(0.005 a 0.018)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| $NO_x$ | **0.420** *(0.320 a 0.519)* | FE (g/kg) | (FE/1000) x Biomassa Consumida (t) |
| **Partículas** | | | |
| MPT | **0.825** *(0.296 a 1.353)* | FE (g/kgC) | (FE/1000) x Carbono Liberado (t) |

(1) Entre parenteses, os intervalos superior e inferior da estimativa.

## 7.3 Discussão

Os valores de emissão bruta de gases e partículas emitidos por queima de biomassa acima do solo em savanas sem a troca do uso da terra, aqui determinados, são os primeiros para a Amazônia. Sistemas de savanas que trocam o

uso da terra para agricultura ou pastagem vem aumentando drasticamente nos últimos anos (KLINK *et al.*, 1993). Entretanto, no caso das savanas e dos demais ambientes não-florestais da Amazônia, são as paisagens sem a troca do uso da terra que ainda possuem uma grande área com uma emissão contínua de carbono para a atmosfera (pelas estimativas deste estudo, cerca de 58% dos sistemas não - florestais ainda preservam sua forma original).

Os valores coletados para Roraima e sequenciados para todos os outros sistemas não-florestais da região, sugerem uma forte presença destas emissões ao longo de toda a década de 1990. Por exemplo, as 175,8 ± 4,0 x $10^6$ t $CO_2$ emitidas anualmente pelas áreas sem a troca do uso da terra são 14 vezes superior aos resultados médios apresentados por FEARNSIDE (2000b) para queima inicial e requeimas de cerrados “com” a troca do uso da terra para toda a Amazônia (12-13 x $10^6$ t $CO_2$). Embora os valores emitidos por unidade de área registrados por Fearnside (25 t $CO_2$.$ha^{-1}$, com troca do uso da terra) estejam vários pontos acima dos aqui encontrados (3,9 t $CO_2$.$ha^{-1}$, sem a troca do uso da terra), é o somatório da área afetada anualmente que acaba determinando um maior “pool” de emissões. No caso, 5.000 $km^2$ para sistemas com troca do uso da terra (base ano 1990), contra 454.707 $km^2$ para sistemas sem a troca do uso da terra (base década de 1990). Claramente, o tipo de uso da paisagem analisada e as distâncias entre os valores de área assumidos por cada estudo fazem a diferença dos resultados. Além disto, o uso de fatores de emissão ou taxas de emissão molar não-especificos para sistemas de savanas interfere no montante médio por unidade de área emitido por cada gás individualmente.

Em adição ao comentário acima abordado, eu saliento que a precisão do cálculo de área queimada para as savanas sem troca do uso da terra em Roraima - depois extrapolado parcialmente para outros ambientes -, foi de 70% (30% de erro). Este é um fator que pode reduzir ou ampliar as fortes diferenças observadas quanto ao lançamento de gases do efeito estufa para a atmosfera pela queima destas paisagens na Amazônia. Além disto, os demais ambientes não-florestais presentes na região e, que foram alvo de estimativas por este estudo, carecem de

investigações mais detalhadas que produzam valores mais próximos da realidade de cada uma daquelas paisagens, como por exemplo biomassa por unidade de área. Este fator também possui uma carga de erro grande de amostragem devido à variabilidade natural que a biomassa coletada em ambientes não florestais possui. Por exemplo, neste estudo o desvio padrão da média para biomassa total foi de 2.776 $kg.ha^{-1}$ para uma média ponderada de 5.010 $kg.ha^{-1}$.

Com os resultados aqui obtidos para a Amazônia, é possível percorrer as estimativas de emissões regionais e globais mais recentes para uma comparação, embora a maioria não se utilize de diferenciações entre os sistemas com e sem o uso da terra como um fator independente de desconto no somatório das áreas afetadas. Eu preferi adotar as comparações apenas com dois dos trabalhos mais recentes porque ambos se utilizam da base de cálculos oriundas de projetos que visavam o estudo exclusivo destes parâmetros. Por exemplo, BARBOSA *et al.* (1999a) estimaram que todas as savanas do continente africano vem emitindo anualmente 990-3.726 x $10^6$ t $CO_2$, 1,2-4,4 x $10^6$ t $CH_4$ e 40-151 x $10^6$ t CO. Embora distantes dos valores absolutos (bruto) assumidos para a Amazônia devido a diferença de área presente nas duas avaliações, ambos os resultados demonstram similaridades na proporção destes três gases emitidos. Por exemplo, na avaliação de Barbosa e colaboradores, a distribuição proporcional média apenas destes três gases foi de 96% ($CO_2$), 0,11% ($CH_4$) e 3,89% (CO), enquanto que para a Amazônia eles foram, respectivamente, 97,12%, 0,07% e 2,81%. Todos com variações devido às diferenças quantitativas e qualitativas da biomassa presente nos diversos ambientes de cada continente e, demonstradas nas tabelas anteriores que versavam sobre as taxas e fatores de emissão.

Levando em consideração a avaliação realizada por SCHOLES & ANDREAE (2000) para as emissões de gases provenientes apenas das savanas mundiais (6.070 x $10^6$ t $CO_2$, 9 x $10^6$ t $CH_4$, 240 x $10^6$ t CO e 37 x $10^6$ t MPT), a Amazônia seria a responsável por apenas 2,9% (175,8 x $10^6$ t $CO_2$) das emissões brutas de dióxido de carbono, 1,5% pelas de metano, 2,1% pelas de monóxido de carbono e 2,2% pelas de MPT liberados para a atmosfera por esta fonte em nível

global. Se contabilizada a área total de savanas do planeta como 18,2 x $10^6$ $km^2$ (ver TABELA 1) e, com isso a Amazônia deter algo como 4,3% das áreas abertas mundiais (incluindo oligotróficas) então, estes valores não estariam expressando fielmente uma realidade regional próxima do total de área estimada neste estudo. Entretanto, é importante comentar que os autores acima citados se utilizaram de dados exclusivamente africanos para realizar suas estimativas e, da mesma forma que os demais, não realizaram a diferenciação entre áreas com e sem troca do uso da terra. Isto insere um maior grau de magnitude às emissões globais e distorce o real peso de outras áreas, como por exemplo a Amazônia ou mesmo os cerrados do Brasil Central, em função de diferenças na forma de ação do fogo nos diversos ambientes que povoam ambas as paisagens.

Outro dado importante é quanto à emissão de material particulado por queimas em savanas. DELMAS *et al.* (1999) pontuaram que das emissões globais de partículas, 25% seriam responsabilidade exclusiva de sistemas de áreas abertas. Na estimativa realizada para toda a Amazônia, eu determinei grandes emissões anuais (em peso) de material particulado total (0,825 x $10^6$ t MPT) quando comparado a outros gases de maior expressão como o $CH_4$ e o $N_2O$, por exemplo. Além disto, uma outra substancial quantia de fuligem e pequenas partículas de carvão (3,3 x $10^6$ t C) foi depositada anualmente no solo como agregados às cinzas por toda a década de 1990. Estes valores são pouco inferiores ao total de carbono depositado no solo como forma de carvão (5,0 x $10^6$ t $C.ano^{-1}$) ou mesmo produzido na forma de material particulado grafítico (0,34-0,42 x $10^6$ t $C.ano^{-1}$) para toda a Amazônia na conversão de florestas no ano de 1990 (FEARNSIDE, 2000b : p. 241-244). Este contraste é devido, principalmente, ao tipo e a quantidade de biomassa atingida por fogos anualmente entre os dois sistemas (florestas e não-florestas).

Tanto o material particulado depositado quanto o emitido possuem papéis importantes no balanço geral de energia e carbono entre a biota e a atmosfera. O primeiro (depositado) entra no sistema como estoque de longo prazo de carbono. Embora demonstrando um papel de importância significativa destes depósitos na armazenagem de carbono, poucos estudos têm se detido em

quantificá-los (p. ex. KAUFFMAN *et al.*, 1994). O segundo (emitido) atua na forma de aerosois nas camadas troposféricas ou estratosféricas, podendo afetar o forçamento radiativo de forma negativa e direta. As atuais estimativas indicam que esta atuação alcance os -0,5 $W.m^{-2}$ (IPCC-WGI, 1995). Ou seja, contrabalançando, em parte, as emissões de gases que possuem um efeito positivo como o metano. Neste último caso, embora sendo mencionados como de grande importância no balanço geral de sistemas tropicais desde o trabalho de SEILER & CRUTZEN (1980), apenas recentemente alguns estudos tem se dedicado a interpretar melhor sua composição estrututal, dinâmica e evolução nos cenários de queima em sistemas tropicais (ver KUHLBUSCH & CRUTZEN, 1995; KUHLBUSCH *et al.*, 1996; CACHIER *et al.*, 1995 , 1996; ANDREAE *et al.*, 1998).

Em termos de comparações exclusivas para o total emitido anualmente de forma líquida pelo Brasil pela troca do uso da terra (incluindo hidrelétricas, solo e biomassa abaixo do solo), os cálculos aqui derivados indicam que poderiam ser adicionados somas diferenciadas às atuais estimativas. Isto pode ser feito principalmente quando analisado os gases-traço e fazendo uso do valor de 0,09% ($0,157 \pm 0,004 \times 10^6$ t $CO_2$) de perda líquida de carbono na forma de $CO_2$ (ver item 6.3.3). Este último deixa de retornar à biota via recrescimento nas savanas e, é aqui estimado em função da simulação de dinâmica do carbono (ver Capítulo 6). Interpretando os valores como emissões líquidas comprometidas (committed), como definidas por FEARNSIDE (1997a ; 2000b) e, fazendo uso dos potenciais de aquecimento climático de cada gás (ver SCHIMEL *et al.*, 1996), então o total emitido na forma de gases equivalente ao $CO_2$ se estabeleceria em $6,61 \pm 2,99 \times 10^6$ t ou $1,80 \pm 0,82 \times 10^6$ t C-$CO_2$ sendo emitidos anualmente por queimadas recorrentes na biomassa acima do solo em ambientes de savana sem a troca do uso da terra na Amazônia (TABELA 33). Capturando o valor médio de $263,75 \times 10^6$ t C-$CO_2$ de FEARNSIDE (2000b) estimado como o total de emissões comprometidas anuais para toda a Amazônia, então o valor aqui determinado representaria 0,7% (0,4-1,0%) destas emissões que não são contabilizadas nos cálculos anuais, apenas considerando a biomassa vegetal acima do solo impactada pelo fogo. Deve-se notar

que se o IPCC reconhecesse o valor de 1,57 como uma média para o potencial de aquecimento global do CO (ver FEARNSIDE, 2000a : p. 146), o resultado acima citado seria elevado para 14,59 ± 5,45 x $10^6$ t (3,98 ± 1,49 x $10^6$ t C-$CO_2$) ou 1,5% (1,0-2,1%) das emissões brasileiras não contabilizadas. No caso de sistemas não-florestais amazônicos, a contabilização do impacto do CO representaria mais que o dobro de emissões. Além disto, este estudo não se detem nas perdas de biomassa abaixo do solo em ambientes não-florestais amazônicos impactados pelo fogo. Isto, por si só, já produziria valores adicionais aos resultados aqui expressos.

TABELA 33 - Emissões líquidas provenientes de queimadas recorrentes em áreas de vegetação aberta da Amazônia, levando em consideração o $CO_2$ equivalente em um horizonte de tempo de 100 anos.

| Gás | GWP[1] | Gás Emitido ($10^6$ t) | Gás Equivalente ao $CO_2$ ($10^6$ t) | Contribuição de cada gás (%) |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 1 | 0.157 *(0.154 a 0.160)* | 0.157 *(0.154 a 0.160)* | 2.4 |
| $CH_4$ | 21 | 0.134 *(0.087 a 0.180)* | 2.813 *(1.837 a 3.789)* | 42.6 |
| CO | 0 | 5.084 *(3.515 a 6.653)* | 0.00 - | 0.0 |
| NMHC | 0 | 0.217 *(0.150 a 0.283)* | 0.00 - | 0.0 |
| $N_2O$ | 310 | 0.012 *(0.005 a 0.018)* | 3.636 *(1.624 a 5.648)* | 55.0 |
| $NO_x$ | 0 | 0.420 *(0.320 a 0.519)* | 0.00 - | 0.0 |
| Total de gás equivalente ao $CC_2$ | | | 6.607 *(3.615 a 9.598)* | 100 |
| C equivalente a $CC_2$ (C-$CO_2$) | | | 1.802 *(0.986 a 2.618)* | - |

(1) Global warming potencial (potencial de aquecimento global).
(2) Se contabilizado o GWP do CO (1,57), o total de gás equivalente ao $CO_2$ se eleva para 14,59 e o C-$CC_2$ para 3,98.

## 7.4 Conclusões

(1) A adoção de parâmetros de cálculo regionalizados produz valores com menor grau de incertezas nas estimativas de emissão de gases do efeito estufa e material particulado em savanas;

(2) Diferente do preconizado pelas planilhas de cálculo do IPCC, savanas podem emitir $CO_2$ de forma líquida devido a perda de espaço do componente arbóreo para o rasteiro que, por sua vez, não preenche todo o estoque de carbono que a vegetação arbórea poderia armazenar. Embora em quantidades que podem ser consideradas pequenas (este estudo aplica a taxa percentual de 0,09% de carbono na forma de $CO_2$) o acúmulo destas perdas ao longo do tempo propicia diferenças nas emissões dos demais gases devido a troca de biomassa total das paisagens de savana;

(3) Do volume bruto de gases do efeito estufa (¶180 x $10^6$ t de gases) que são emitidos pela queima e decomposição da biomassa acima do solo, em cerca de 454.000 $km^2$ de sistemas não-florestais amazônicos afetados pelo fogo anualmente sem a troca do uso da terra, 1,80 ± 0,82 x $10^6$ t C-$CO_2$ são emitidos de forma líquida para a atmosfera quando analisada a emissão comprometida e o potencial de aquecimento climático de cada gás em um horizonte de 100 anos. Isto representa 0,7% (0,4-1,0%) das emissões atuais que deveriam ser contabilizadas nos cálculos gerais para a Amazônia para o ano base de 1990.

# Capítulo 8
# Considerações Finais

Apesar de sua importância ecológica no contexto regional e global, as savanas amazônicas necessitam de um maior aporte de informações que eliminem gradativamente boa parte das incertezas sobre sua participação na emissão de gases do efeito estufa por queimadas. Os estudos realizados em Roraima deram uma base primária razoável para estimar (mesmo que de forma preliminar) as emissões destes gases e do material particulado total. Esta estimativa permitiu visualizar que as queimas provocadas em ambientes sem a troca do uso da terra possuem um dimensionamento diferente daquelas realizadas em ambientes com a troca do uso da terra por representarem, em geral, ambientes diferenciados principalmente pela quantidade de biomassa presente nestes sistemas alterados (cerradões). Portanto, o desconto destas áreas é essencial para uma correta avaliação desta fonte de emissão.

Em termos do comportamento da política ambiental para estas paisagens de baixa biomassa na Amazônia, o importante seria a adoção de parcerias com a comunidade que delas se servem para produzir uma franca redução na porcentagem de área queimada anualmente. Isto contribuiria fortemente para que uma significativa parte do carbono emitido de forma líquida para a atmosfera retornasse por recrescimento da vegetação (principalmente a arbórea). Eu enfatizo que variações na porcentagem de área queimada podem produzir efeitos muito mais significativos no curto prazo, com a participação das comunidades, do que tentativas de proteção de grandes áreas no longo prazo dentro de programas de proteção sem a participação comunitária. A idéia geral não seria a de eliminar as queimadas (cenário irreal nas atuais circunstâncias) mas contribuir sensivelmente para manter o carbono por maior período de tempo nestes sistemas.

Isto poderia ser feito dentro de programas surgidos a partir das discussões sobre mudanças climáticas que foram desencadeadas na RIO-92 com a participação de 155 países. Uma alternativa recente e que foi transformada de uma

proposta brasileira sugerida em 1997, é o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - artigo 12 do Protocolo de Kyoto). O MDL abre a possibilidade para que um país compromissado na redução de suas emissões (países do Anexo B do Protocolo) possa financiar projetos em países em desenvolvimento como forma de cumprir parte de suas metas. Tais projetos associados à conservação de savanas pelo uso manejado de seus recursos naturais traria efeitos positivos ao ambiente e à comunidade que dele se serve. Parte da “baseline” para Roraima, por exemplo, já existe e está anotado neste estudo. Uma complementação com os potenciais de uso do sistema seria benéfico e poderia ser associado aos sumidouros de carbono preconizados no Protocolo de Kyoto e com obrigação de serem listados nos inventários nacionais (ver MIGUEZ, 2000).

Além do grande potencial para ampliação do inventário nacional e/ou participação no mecanismo de desenvolvimento limpo, o estudo em tela está fortemente associado à melhoria das estimativas sobre emissões pelos países situados em regiões tropicais e em fase de desenvolvimento, como o Brasil. Esta melhora qualitativa e quantitativa das informações esta ligada a obtenção de parâmetros de cálculos mais robustos e regionalizados para entrada nos modelos de química atmosférica que prevêem o acúmulo de gases e seus efeitos sobre o clima terrestre. Neste caso, a previsibilidade das conseqüências será mais facilmente visualizada devido ao melhor entendimento do relacionamento e dos processos que envolvem a biota e a atmosfera.

# Capítulo 9

# Literatura Citada

Ab'Saber,A.N. (1997). O significado geomorfológico e geoecológico no contexto do relevo de Roraima. In: R. I. Barbosa; E. Ferreira; E. Castellón (eds.), *Homem, Ambiente e Ecologia em Roraima*. INPA/Manaus. pp. 267-293.

Abdala,G.C.; Caldas,L.S.; Haridasan,M.; Eiten,G. (1998). Above and belowground organic mater and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, 2(1): 11-23.

Ajtay,G.L.; Ketner,P.; Duvigneaud,P. (1979). Terrestrial primary production and phytomass. In: B. Bolin; E. T. Degens; S. Kempe; P. Ketner (eds.), *The Global Carbon Cycle* (SCOPE 13), John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. pp. 129-181.

Akeredolu,F.; Isichei,A.O. (1991). Emissions of carbon, nitrogen, and sulfur from biomass burning in Nigeria. *In*: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning - Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts. pp. 162-166.

Allen,A.G.; Miguel,A.H. (1995). Biomass burning in the Amazon: characterization of the ionic component of aerosols generated from flaming and smouldering rainforest and savannah. *Environ. Sci. Technol.*, 29: 486-493.

Anderson,I.C.; Poth,M.A. (1998). Controls on fluxes of trace gases from Brazilian Cerrado soils. *Journal of Environmental Quality*, 27: 1117-1124.

Andreae,M.O. (1996). Emissions of trace gases and aerosols from southern african savannas fires. *In*: B. W. Wilgen *et al.* (eds.), *Fire in Southern African Savannas - Ecological and Atmospheric Perspectives*, Witwaterstrand University Press,

Johannesburg, África do Sul. pp. 161-183.

Andreae,M.O.; Browell,E.V.; Garstang,M; Gregory,G.L.; Harriss,R.C.; Hill,G.F.; Jacob,D.J.; Pereira,M.C.; Sachse,G.W.; Setzer,A.W.; Silva Dias,P.L.; Talbot,R.W.; Torres,A.L.; Wofsy,S.C. (1988). Biomass-burning emissions and associated haze layers over Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, 93(D2): 1509-1527.

Andreae,M.O.; Andreae,T.W.; Annergan,H.; Beer,J.; Cachier,H.; Canut,P.; Elbert,W.; Maenhaut,W.; Salma,I. Wienhold,F.G.; Zenker,T. (1998). Airborne studies of aerosol emissions from savannas fires in Southern Africa. 2 . Aerosol chemical composition. *Journal of Geophysical Research*, 103(D24): 32.119-32.128.

Barbosa,P.M.; Pereira,J.M.C.; Grégorie,J.M. (1998). Compositing criteria for burned area assessment using low resolution sattelite data. *Remote Sens. Environ.*, 65: 38-49.

Barbosa,P.M.; Stroppiana,D.; Grégorie,J.M.; Pereira,J.M.C. (1999a). An assessment of vegetation fire in Africa (1981-1991): Burned areas, burned biomass, and atmospheric emissions. *Global Biogeochemical Cycles*, 13(4): 933-950.

Barbosa,P.M.; Grégorie,J.M.; Pereira,J.M.C. (1999b). An algorithm for extracting burned areas from time series of AVHRR GAC data applied at a continental scale. *Remote Sens. Environ.*, 69: 253-263.

Barbosa,R.I. (1997). Distribuição das chuvas em Roraima. In: R. I. Barbosa, E. Ferreira; E. G. Castellon (eds.), *Homem, Ambiente e Ecologia em Roraima*. Manaus, INPA. pp. 325-335.

Barbosa,R.I.; Fearnside,P.M. (1996). Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research* 101(D20): 25.847-25.857.

Barbosa,R.I. ; Fearnside,P.M. (1999). Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecosistemas de Roraima na passagem do Evento “El Niño” (1997/98). *Acta Amazonica*, 29(4): 513-534.

Bastos,M.N.C. (1984). Levantamento florístico do Estado do Pará. I . Campos de Joanes (Ilha de Marajó). *Bol. Mus. Par. Em. Goeldi* (s. Bot.), 1(1/2): 67-86.

Batmanian,G.J. (1983). *Efeitos do fogo sobre a produção primária e acumulação de nutrientes no estrato rasteiro de um cerrado*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília (DF). 78p.

Beard,J.S. (1953). The savanna vegetation of northern tropical America. *Ecological Monographs* 23: 149-215.

Bilbao,B. ; Medina,E. (1996). Types of grassland and nitrogen volatilization in Tropical Savannas of Calabozo, Venezuela. *In*: J. S. Levine (ed.), *Biomass Burning and Global Change* (vol. 2). Massachusetts Institute of Technology, USA. pp. 569-574.

Blake,N.J.; Blake,D.R.; Sive,B.C.; Tai-Yih,C.; Rowland,F.S.; Collins,J.E.; Sachse,G.W.; Anderson,B.E. (1996). Biomass burning emissions and vertical distribuition of atmospheric methyl halides and other reduced carbon gases in the South Atlantic region. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 24.151-24.164.

Blydenstein,J. (1963). Cambios en la vegetacion después de protección contra el fuego. I . El aumento anual en material vegetal en varios sitios quemados y no quemados en la estacion biológica. *Bol. Soc. Venez. Cienc. Nat.*, 103: 233-238.

Bolin,B. (1977). Changes of land Biota and their importance for the carbon cycle. *Science* 196: 613-615.

Bonsang,B.; Lambert,G. ; Boissard,C.C. (1991). Light hydrocarbons emissions from

African savanna burnings. *In*: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning - Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge. pp. 155-161.

Bonsang,B.; Boissard,C.; Le Cloarec,M.F.; Rudolph,J.; Lacaux,J.P. (1995). Methane, carbon monoxide and light non-methane hydrocarbon emissions from African savanna burnings during the FOS/DECAFE experiment. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 22: 149-162.

Botkin,D.B.; Simpson,L.G. (1990). Biomass of the North American Boreal forest. *Biogeochemistry*, 9: 161-174.

BRASIL (1975). *Projeto RADAMBRASIL*. Levantamento de Recursos Naturais, Volume 8. Ministério das Minas e Energia. Rio de Janeiro. 428p.

Braithwaite,R.W. (1996). Biodiversity and fire in the savanna landscape. *In*: O. T. Solbrig, E. Medina ; J. F. Silva (eds.), *Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes - A Global Perspective*. Heidelberg, Springer-Verlag. pp. 121-140.

Brower,J.E.; Zar,J.H. (1984). *Field & Laboratory Metodhs for General Ecology* (Second Edition). Wm. C. Brown Company Publishers, Iowa. 226p.

Budowski,G. (1956). Tropical savannas, a sequence of forest felling and repeated burnings. *Turrialba*, 6(1-2): 23-33.

Cachier,H.; Liousse,M.; Buat-Menard,P.; Gaudichet,A. (1995). Particulate content of savanna fire emissions. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 22: 123-148.

Cachier,H.; Liousse,M.; Pertuisot,M.H.; Gaudichet,A.; Echalar,F.; Lacaux,J.P. (1996). African fire particulate emission and atmospheric influence. *In*: J.S. Levine (ed.), *Biomass Burning and Global Change*. MIT Press, Cambridge. pp. 428-440.

Câmara,G.; Medeiros,J.S. (1996). GIS para Aplicações Ambientais. *In: Tutotial do Spring para Windows*, São Paulo. p. 2-7.

Canut,P.L.; Andreae,M.O.; Harris,G.W.; Wienhold,F.G.; Zenker,T. (1996). Airbone studies, of emissions from savanna fires in southern Africa. 1 . Aerosol emissions measured with a laser optical particle counter. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 23.615-23.630.

Carneiro-Filho,A.; Zink,J.A. (1994). Mapping paleo-aeolian sand cover formations in the northern Amazon Basin from TM images. *ITC Journal* 3: 270-282.

Castro,E.A.; Kauffman,J.B. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and comsuption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14: 263-283.

Cerri,C.C.; Eduardo,B.P.; Piccolo,M.C. (1990). *Métodos de análises em matéria orgânica do solo*. CENA/USP, Piracicaba. 78p.

Cesar,H.L. (1980). *Efeitos da queima e corte sobre a vegetação de um campo sujo na Fazenda Limpa - DF.* Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília (DF).

Chambers,J.Q. (1998). *The role of large wood in the carbon cycle of Central Amazon rain forest*. Tese de Doutorado. University of California, Santa Barbara. 117p.

Chambers,J.Q.; Higuchi,N.; Schimel,J.P.; Ferreira,L/V.; Melack,J.M. (2000). Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the Central Amazon. *Oecologia*, 122: 380-388.

Cofer,W.R.; Levine,J.S.; Winstead,E.L.; Cahoon,D.R.; Sebacher,D.I.; Pinto,J.P. ; Stocks,B.J. (1996). Source compositions, of trace gases released during African

savanna fires. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 23.597-23.602.

Cole,M.M. (1960). Cerrado, Caatinga and Pantanal: The distribuition and origin of the savanna vegetation of Brazil. *Geographical Journal* 126: 168-179.

Cooper,A. (1981). The origin and stability of tropical edaphic savanna on groundwater podzols in Guyana. *Tropical Ecology*, 22(1): 99-115.

Coradin,L. 1978. *The grasses of the natural savannas of the Federal Territory of Roraima, Brazil*. Tese de Mestrado, University of New York / New York Botanical Garden. 33p + anexos.

Coutinho,L.M. (1976). *Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do cerrado*. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo. São Paulo.

Coutinho,L.M. (1978). O conceito de cerrado. *Rev. Brasileira de Botânica*, 1: 17-23.

Coutinho,L.M. (1982). Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. *In:* Huntley,B.J ; Walker,B.H. (eds.), *Ecology of Tropical Savannas* (Ecological Studies 42). Springer, New York. pp. 273-291.

Coutinho,L.M. (1990). Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado. In: J. G. Goldammer (ed.), *Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges*. Springer-Verlag (Ecological Studies 84). pp. 82-105.

Crutzen,P.J. (1987). Role of the tropics in Atmospheric Chemistry. *In*: R. E. Dickinson (ed.). *The Geophysiology of Amazonia (Vegetation and Climate Interactions)*, John Wiley & Sons, New York, EUA. pp. 107-132.

Crutzen,P.J. (1995). On the role of $CH_4$ in atmospheric chemistry: sources, sinks and possible reductions in anthropogenic sources. *Ambio*, 24(1): 52-55.

Crutzen,P.J.; Andreae,M.O. (1990). Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250: 1669-1678.

Dale,V.H.; Houghton,R.A.; Grainger,A.; Lugo,A.E.; Brown,S. (1993). Emissions of greenhouse gases emissions from tropical deforestation and subsequent uses of the land. *In: SustainableAgriculture and the Environment in the Humid Tropics*, National Research Council, Washington D.C., EUA. pp. 215-260.

Dantas,M.; Rodrigues,I.A. 1982. Estudos fitoecológicos do Trópico Úmido Brasileiro: IV - Levantamentos botânicos em Campos do Rio Branco. *Boletim de Pesquisa* (EMBRAPA/CPATU) nº 40. 31p.

Delmas,R.A. (1982). On the emission of carbon, nitrogen and sulfur in the atmosphere during bushfires in the intertropical savannah zones. *Geophysical Research Letters*, 9(7): 761-764.

Delmas,R.A.; Loudjani,P.; Podaire,A.; Menaut,J.C. (1991a). Biomass burning in Africa: An assessment of annually burned biomass. *In*: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning - Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge / Massachusetts, EUA. pp. 129-131.

Delmas,R.A.; Marenco,A.; Tathy,J.P.; Cros,B.; Baudet,J.G.R. (1991b). Sources and sinks of methane in the African savanna. CH4 emissions from biomass burning. *Journal of Geophysical Research*, 96(D4): 7287-7299.

Delmas,R.; Lacaux,J.P.; Brocard,D. (1995). Determination of biomass burning emissions factors: methods and results. *Environmental Monitoring and Assessment*, 38: 181-204.

Delmas,R.A. et 33 colaboradores (1999). Experiment for regional sources and sinks of oxidants (EXPRESSO) : an overview. *Journal of Geophysical Research*, 104(D23):

30.609-30.624.

Deschler,W.W. (1974). An examination of the extent of grass fires in the savanas of Africa along the southern side of Sahara. *In*: Ninth International Symp. On Remote Sensing on Environment, ERIM, Ann Arbor, Michigan, EUA.

Dickinson,R.E.; Cicerone,R.J. (1986). Future global warming from atmospheric trace gases. *Nature*, 319: 109-115.

Eden,M. (1970). Savanna vegetation in the northern Rupununi, Guyana. *The Journal of Tropical Geography,* 30: 17-28.

Egler,W.A. (1960). Contribuições ao conhecimento dos campos da Amazônia. I . Os campos do Ariramba. *Bol. Mus. Par. Em. Goeldi* (s. Bot.), 4: 1-36.

Ehrlich,P.R.; Ehrlich,A.H. ; Holdren,J.P. (1977). *Ecoscience : Population, Resources, Environment*. W. H. Freeman an Company, San Francisco, USA. 1051p.

Eiten,G. (1972). The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review,* 38: 201-341.

Eiten,G. (1982). Brazilian "savannas". *In*: B. J. Huntley ; B. H. Walker (eds.), *Ecology of Tropical Savannas* (Ecological Studies, vol. 42), Springer-Verlag, Berlim, Alemanha. pp. 25-47.

Eiten,G. (1986). The use of the term “savanna”. *Tropical Ecology*, 27-10-23.

Fearnside,P.M. (1986). *Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest*. Columbia University Press, New York, EUA. 293p.

Fearnside,P.M. (1991). Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, EUA. pp. 92-105.

Fearnside,P.M. (1992). Greenhouse gas emissions from deforestation in the Brazilian Amazon. In: W. Makundi ; J. Sathaye (eds.), *Carbon Emissions and Sequestration in Forests: Case Studies from Seven Developing Countries* (Volume 2 - Brazil). EPA & LBL, EUA. 73p.

Fearnside,P.M. (1996). Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. *In*: J. S. Levine (ed.), *Biomass Burning and Global Change* (vol. 2). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, EUA. pp. 606-617.

Fearnside,P.M. (1997a). Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change,* 35(1): 321-360.

Fearnside,P.M. (1997b). Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 90(1): 59-87.

Fearnside,P.M. (2000a). Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46(1/2): 115-158.

Fearnside,P.M. (2000b). Greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. *In:* R. Lal ; J.M. Kimble ; B.A. Stewart (eds.), *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Advances in Soil Science, CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 231-249.

Fearnside,P.M.; Ferraz,J. (1995). A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation. *Conservation Biology,* 9(5): 1-14.

Fearnside,P.M., Barbosa,R.I.; Graça,P.M.L.A. (sd). Burning of secondary forest in Amazonia : biomass, burning efficiency and charcoal formation during land preparation for agriculture in Apiaú, Roraima, Brazil. *Forest Ecology and*

*Management*, (submetido).

Ferek,R.J.; Reid,J.S.; Hobbs,P.V.; Blake,D.R.; Liousse,C. (1998). Emission factors of hydrocarbons, halocarbons, trace gases and particles from biomass burning in Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 103(D24): 32.107-32.118.

Fisch,G.; Lean,J.; Wright,I.R.; Nobre,C.A. (1997). Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região Amazônica: Estudo de um caso em Rondônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 12(1): 33-48.

Gignoux,J.; Clobert,J.; Menaut,J.C. (1997). Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia*, 110: 576-583.

Goodland,R. (1966). On the savana vegetation of Calabozo, Venezuela and Rupununi, British Guiana. *Boletin Sociedad Venezolana de Ciências Naturales*, 110(26): 341-359.

Gottsberger,G.; Morawetz,W. (1986). Floristic, structural and phytogeographical analysis of the savannas of Humaita (Amazonas). *Flora*, 178: 41-71.

Graça,P.M.L.A. (1997). *Conteúdo de carbono da biomassa florestal na Amazônia e alterações após a queima*. Dissertação de Mestrado. ESALQ, Piracicaba. 105p.

Greenberg,J.P.; Zimmerman,P.R.; Heidt,L. ; Pollock,W. (1984). Hydrocarbon and carbon monoxide emissions from biomass burning in Brazil. *Journal of Geophysical Research,* 89(D1): 1350-1354.

Guerra,A.T. (1957). *Estudo geográfico do Território do Rio Branco*. IBGE / Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro. 253p.

Hall,D.; Rosillo-Calle,F. (1990). African forests and grasslands: Sources or sinks of greenhouse gases ? *In: International Conference on Global Warming & Climate*

*Change: African Perpectives*. Nairobi, Kenya (2-4 May). 23p.

Hao,W.M.; Ward,D.E. (1993). Methane production from global biomass burning. *Journal of Geophysical Research*, 98(D11): 20657-20661.

Hao,W.M.; Liu,M.H. (1994). Spatial and temporal distribuition of tropical biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 8(4): 495-503.

Hao,W.M.; Liu,M.H.; Crutzen,P.J. (1990). Estimates of annual and regional releases of $CO_2$ and other trace gases to the atmosphere from fires in the tropics. Based on the FAO Statistics for the period 1975-80. *In*: J. G. Goldammer (ed.), *Fire in the Tropical Biota*. Springer-Verlag, Berlim, Alemanha. pp. 440-462.

Harries,J.E. (1996). The Greenhouse Earth: A View from Space. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society,* 122(532): 799-818.

Helas,G. (1995). Emissions of atmospheric trace gases from vegetation burning. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 351: 297-312.

Henderson-Sellers,A. (1996). Climate modelling, uncertainty and responses to predictions of change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change,* 1(1): 1-21.

Henderson-Sellers,A.; Dickinson,R.E.; Wilson,M.F. (1988). Tropical deforestation: Important processes for climate models. *Climatic Change,* 13: 43-67.

Hochberg,.E.; Menaut,J.C.; Gignoux,J. (1994). The influences of tree biology and fire in the spatial structure of the West African savannah. *Journal of Ecology*, 82: 217-226.

Hoffa,E.A.; Ward,D.E.; Hao,W.M.; Sussot,R.A.; Wakimoto,R.H. (1999). Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambian savanna. *Journal of*

*Geophysical Research*, 104(D11): 13841-13853.

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. (1999). Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology*, 80(4): 1354-1369.

Hopkins,B. (1965). Observations on savanna burning in the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria. *J. Appl. Ecol.* 2: 367-381.

Houghton,J.T.; Meira Filho,L.G.; Bruce,J.; Hoesung Lee,B.A.; Callander,E.; Harris,N.; Maskell,K. (1995a). *Climate Change 1994 - Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios (Groups I and III)*. Cambridge University Press. Reino Unido. 339p.

Houghton,J.T.; Meira Filho,L.G.; Callander,B.A.; Harris,N.; Kattenberg,A.; Maskell,K. (1995b). *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change (Group I)*. Cambridge University Press. Reino Unido. 572p.

Houghton,J.T.; Callender,B.A.; Varney,S.K. (1992). *Climate Change 1992 - The Suplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. Reino Unido. 200p.

Houghton,R.A. (1990a). The global effects of tropical deforestation. *Environm. Sci. Technol.,* 24(4): 414-422.

Houghton,R.A. (1990b). The future role of tropical forests in affecting the carbon dioxide concentration of the atmosphere. *Ambio,* 19(4): 204-209.

Houghton,R.A.; Hobbie,J.E.; Melillo,J.M.; Moore,B.; Peterson,B.J.; Shaver,G.R.;

Woodwell,G.M. (1983). Changes in the carbon content of terrestrial Biota and soils between 1860 and 1980: A net release of $CO_2$ to the atmosphere. *Ecological Monographs,* 53(3): 235-262.

Houghton,R.A.; Skole,D.L.; Nobre,C.A.; Hackler,J.L.; Lawrence,K.T. ; Chomentowski,W.H. (2000). Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403: 301-304.

Huber,O. (1987). Neotropical savannas: their flora and vegetation. *Tree*, 2(3): 67-71.

Hurlbert,S.H. (1984). Pseudoreplication and design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54(2): 187-211.

Hurst,D.F.; Griffith,D.W.T.; Carras,J.N.; Williams,D.J.; Fraser,P.J. (1994a). Measurements of trace gases emitted by Australian savanna fires during the 1990 dry season. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 18: 33-56.

Hurst,D.F.; Griffith,D.W.T.; Cook,G.D. (1994b). Trace gas emissions from biomass burning in tropical Australian savannas. *Journal of Geophysical Research*, 99(D8): 16441-16456.

Hurst,D.F.; Griffith,D.W.T; Cook,G.D. (1996). Trace-gas emissions from biomass burning in Australia. In: J. S. Levine (ed.), *Biomass Burning and Global Change*, Volume 2. MIT Press. Cambridge, Massachusetts, EUA. pp. 787-792.

Iacobellis,S.F.; Frouin,R.; Razafimpanilo,H.; Somerville,R.C.J.; Piper,S.C. (1994). North African savanna fires and atmospheric carbon dioxide. *Journal of Geophysical Research,* 99(D4): 8321-8334.

IBGE (1992). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira.* Manuais Técnicos em Geociências nº 1. IBGE, Rio de Janeiro. 92p.

IBGE/IBDF (1988). *Mapa de Vegetação do Brasil* (Escala 1:5.000.000). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências.

IBGE/IBAMA (1993). *Mapa de Vegetação do Brasil* (Escala 1:5.000.000). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências (2ª edição).

INPE (1999). *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1997 - 1998 (Projeto PRODES)*. MCT/INPE, São José dos Campos. 22p.

INPE (2000). *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1998 - 1999 (Projeto PRODES)*. MCT/INPE, São José dos Campos. 21p.

IPCC (1997). Greenhouse Gas Inventory : Reporting Instructions, Vol. 2. *In:* J. T. Houghton; L. G. Meira-Filho; B. Lim; K. Tréanton; I. Mamaty; Y. Bonduki; D. J. Gribbs; B. A. Callander (eds.), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC/OECD/IEA. Genebra, Suiça. pp. 4.23-4.27.

IPCC (2000). *Land use, land-use change, and forestry*. *In:* Watson,R.T.; Noble,I.R.; Bolin,B.; Ravindranath,N.H.; Verardo,D.J.; Dokken,D.J. (eds.). IPCC, Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. 377p.

IPCC/OECD (1994a). *Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions* (Final Draft). IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 1). IPCC/OECD Joint Programme. Genebra, Suiça.

IPCC/OECD (1994b). *Greenhouse Gas Inventory - Workbook* (Final Draft). IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 2). IPCC/OECD Joint Programme. Genebra, Suiça.

IPCC/OECD (1994c). *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual* (First Draft). IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 3). IPCC/OECD Joint Programme. Genebra, Suiça.

IPCC-WGI (1995). *Climate Change 1995 - Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report*. WMO/UNEP. 56p.

Jardim,F.C.S. (1990). Mortalidade e crescimento na floresta equatorial de terra firme. *Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi* (Botânica), 6(2): 227-234.

Kauffman.J.B.; Cummings,D.L.; Ward,D.E. (1994). Relationships of fire, biomass and nutrients dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. *Journal of Ecology*, 82: 519-531.

Kaufman,Y.J.; Setzer,A.; Ward,D.; Tanre,D.; Holben,B.N., Menzel,P.; Pereira,M.C. ; Rasmussen,R. (1992). Biomass burning airborne and spaceborne experiment in the Amazonas (BASE-A). *Journal of Geophysical Research*, 97(D13): 14581-14599.

Kaufman,Y.J.; Setzer,A.; Justice,C.; Tucker,C.J.; Pereira,M.C.; Fung,I. (1990). Remote sensing of biomass burning in the tropics. *In*: J. G. Goldammer (ed.), *Fire in the Tropical Biota*, Springer-Verlag, Berlim, Alemanha. pp. 371-399.

Kaufman,Y.J.; Setzer,A.; Ward,D.; Tanre,D.; Holben,B.N., Menzel,P. Pereira,M.C. ; Rasmussen,R. (1992). Biomass burning airborne and spaceborne experiment in the Amazonas (BASE-A). *Journal of Geophysical Research*, 97(D13): 14581-14599.

Keller,M.; Clark,D.A.; Clark,D.B.; Weitz,A.M.; Veldkamp,E. (1996). If a tree falls in the forest ... . *Science*, 273: 201.

Kiehl,J.T. (1992). Atmospheric general circulation modelling. *In*: K. E. Trenbert (ed.), *Climate System Modelling*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. pp. 319-370.

Kirchhoff,V.W.J.H. ; Alvalá,P.C. (1996). Overview of an aircraft expedition into the Brazilian cerrado for observation of atmospheric trace gases. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 23973-23981.

Klink,C.A.; Moreira,A.G.; Solbrig,O.T. (1993). Ecological impact of agricultural development in the Brazilian cerrados. *In*: M. D. Young ; O. T. Solbrig (eds.), *The World's Savannas : Economic Driving Forces, Ecological Contraints and Policy Options for Sustainable Land Use*, MAB Series, vol. 12, Pathenon Pub., London. pp. 259-283.

Klink,C.; Moreira,A. (2000). Valoração do potencial do cerrado e, estocar carbono atmosférico. *In*: A. G. Moreira ; S. Schwartzman (eds.), *As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros*. Brasília, IPAM / WHRC / ED. pp. 82-88.

Koppmann,R.; Khedim,A.; Rudolph,J.; Poppe,D.; Andreae,M.O.; Helas,G.; Welling,M.; Zenker,T. (1997). Emissions of organic trace gases from savanna fires in southern Africa during the 1992 Southern Africa Fire Atmosphere Research Initiative and their impact on the formation of tropospheric ozone. *Journal of Geophysical Research*, 102(D15): 18.879-18.888.

Kuhlbusch,T.A.J.; Crutzen,P.J. (1995). Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric $CO_2$ and source of $O_2$. *Global Geochemical Cycles*, 9(4): 491-501.

Kuhlbusch,T.A.J.; Andreae,M.O.; Cachier,H.; Goldammer,J.G.; Lacaux,J.P. ; Shea,R.; Crutzen,P.J. (1996). Black carbon formation by savanna fires : measurements and implications for the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 23651-23665.

Lacaux,J.P.; Brustet,J.M.; Delmas,R.; Menaut,J.C.; Abbadie,L.; Bonsang,B.; Cachier,H.; Baudet,J.; Andreae,M.O.; Helas,G. (1995). Biomass burning in the tropical savannas of Ivory Coast: and overview of the Field Experiment Fire of Savannas (FOS/DECAFE 91). *Journal of Atmospheric Chemistry*, 22: 195-216.

Lacey,C.J.; Walker,J.; Noble,I.R. (1982). Fire in Australian tropical savannas. *In*: B. J. Huntley ; B. H. Walker (eds.), *Ecology of Tropical Savannas* (Ecological Studies 42).

Springer-Verlag, Berlim. Alemanha. pp. 246-272.

Lambert,G.; Le Cloarec,M.F.; Ardouin,B.; Bonsang,B. (1991). Long-lived radon daughters signature of savanna fires. *In*: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning - Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts, EUA. pp. 181-184.

Lameira,O.A.; Coimbra,J.M. (1988). Levantamento e distribuição da precipitação em Roraima. *Pesquisa em Andamento* nº 12. (EMBRAPA/UEPAT-Boa Vista).

Lamotte,M. (1975). The structure and function of a tropical savannah ecosystem. *In*: F. B. Golley ; E. Medina (eds.), *Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer-Verlag, New York. EUA. pp. 179-222.

Lamotte,M. (1985). Some aspects of studies on savanna ecosystems. *Tropical Ecology,* 26: 89-98.

Lamotte,M. *et al.* (1985). *Variations saisonnières de la fixation et de la liberation du $CO_2$ dans les mileux de Savane de Cote d'Ivore*. Actions des Feux de Brousse. Programme Piren $CO_2$, Paris, ENS.

Lanly,J.P. (1982). *Tropical Forest Resources*. FAO Forestry Paper 30, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Itália. 102p.

Lashof,D.A. (1989). The dynamic greenhouse: feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and cliamtic change. *Climatic Change,* 14: 213-242.

Lavenu,F. (1982). *Teledetection des feux de savana dans le Parc National de la Comoe (Cote-d'Ivore)*. Dissertation, University of Paris.

Lavenu,F. (1984). *Teledetection et vegetation tropicale: example du Nord-Est de la*

*Cote d'Ivore et du Bengladesh*. Thesis, UPS Toulouse.

Lieberman,D.; Lieberman,M.; Peralta,R.; Hartshorn,G.S. (1985). Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal of Ecology,* 73: 915-924.

Lima,D.A. (1958). Viagem aos campos de Monte Alegre, Pará - Contribuição para o conhecimento de sua flora. *Bol. Técnico Instituto Agronômico do Norte*, 36: 99-149.

Liousse,C.; Dulac,F.; Cachier,H.; Tanré,D. (1997). Remote sensing of carbonaceous aerosol production by African savannas biomass burning. *Journal of Geophysical Research*, 102(D5): 5895-5911.

Lobert,J.M.; Scharffe,D.H.; Hao.W.M.; Kuhlbusch,T.A.; Seuwen,R.; Warnek,P.; Crutzen,P.J. (1991). Experimental evaluation of biomass burning emissions: nitrogen and carbon containing compounds. In: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, EUA. pp. 289-304.

Martius,C. (1997). Decomposition of Wood. In: W. J. Junk (ed.), The Central Amazon Floodplain. Springer-Verlag, Berlim, Alemanha. pp. 267-276.

McGill University (1966). *Savanna Research Project Technical*. Report 5.

McNaughton,S.J.; Stronach,R.H. ; Georgiardis,N.J. (1998). Combustion in natural fires and global emissons budgets. *Ecological Applications*, 8(2): 464-468.

Menaut,J.C. ; Cesar,J. (1982). The structure and dynamics of a West Africa Savanna. *In*: B. J. Huntley ; B. H. Walker (eds.), *Ecology of Tropical Savannas* (Ecological Studies 42). Springer-Verlag, Berlim. Alemanha. pp. 80-100.

Menaut,J.C.; Abbadie,L.; Lavenu,F.; Loudjani,P.; Podaire,A. (1991). Biomass burning in West African Savannas. *In*: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning* -

*Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge. Massachusetts. EUA. pp. 133-142.

Miguez,J.D.G. (2000). Compromissos do Brasil: comunicações e inventário de emissões. *In*: A. G. Moreira ; S. Schwartzman (eds.), *As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros*. Brasília, IPAM / WHRC / ED. pp. 34-49.

Milliken,W.; Ratter,J.A. (1998). The vegetation of the Ilha de Maracá. *In*: W. Milliken; J. A. Ratter (eds.), *Maracá: The Biodiversity and Environment of an Amazonian Rainforest*. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. pp. 71-129.

Miranda,H.S.; Miranda,A.C. (2000). Queimadas e estoques de carbono no Cerrado. *In*: A. G. Moreira; S. Schwartzman (eds.), *As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros*. Brasília, IPAM / WHRC / ED. pp. 75-81.

Miranda,H.S.; Rocha e Silva,E.P.; Miranda,A.C. (1996a). Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. *In*: H. S. Miranda; C. H. Saito ; B. F. S. Dias (org.), *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Universidade de Brasília, Brasília (DF). pp. 1-10. (Anais do Simpósio “Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais” - III Congresso de Ecologia do Brasil, 6 a 11 de outubro de 1996).

Miranda,A.C.; Miranda,H.S.; Lloyd,J.; Grace,J.; McIntyre,J.A.; Meir,P.; Riggan,P.; Lockwood,R. ; Brass,J. (1996b). Carbon dioxide fluxes over a cerrado *sensu strictu* in central Brasil. *In*: J.H.C. Gash; C.A. Nobre; J.M. Roberts ; R.L. Victoria (eds.), *Amazonian Deforestation and Climate*. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. pp. 353-363.

Miranda,A.C.; Miranda,H.S.; Lloyd,J.; Grace,J.; Francey,R.J.; McIntyre,J.A.; Meir,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,I.S. (1991). *Estrutura e fenologia de uma comunidade arbórea de savana de Alter-do-Chão, Pará*. Dissertação de mestrado. INPA/FUA, Manaus. 129p.

Miranda,I.S. 1998. *Flora, fisionomia e estrutura das savanas de Roraima, Brasil*. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia / Universidade do Amazonas, Manaus. 186p.

Miranda,I.S.; Absy,M.L. (1997). A flora fanerogâmica das savanas de Roraima. In: R. I. Barbosa, E. Ferreira ; E. G. Castellon (eds.), *Homem, Ambiente e Ecologia em Roraima*. Manaus, INPA. pp. 445-462.

Miranda,I.S.; Absy,M.L. (2000). Fisionomia das savanas de Roraima. *Acta Amazonica*, 30(3): 423-440.

Moreira,A. (1992). Fire protection and vegetation dynamics in the Brazilian Cerrado. Tese de Doutorado. Harvard University, Cambridge, Massachusetts, EUA. 201p.

Moreira,A. (1996). Proteção contra o fogo e seu efeito na distribuição e composição de espécies de 5 fisionomias de Cerrado. *In*: H. S. Miranda; C. H. Saito ; B. F. S. Dias (org.), *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Universidade de Brasília, Brasília (DF). pp. 112-121. (Anais do Simpósio “Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais” - III Congresso de Ecologia do Brasil, 6 a 11 de outubro de 1996).

Moreira,A. (sd). Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, 27 (no prelo).

Mori,S.A. (1989). Eastern, extra-Amazonian Brazil. *In*: D. G. Campbell ; D. Hammond (eds.) *Floristic Inventory of Tropical Countries: The Status of Plants Systematics, Collections, and Vegetation, plus Recommendations for the Future*. The New York Botanical Garden, New York, EUA.

Myers,J.G. (1936). Savannah and forest vegetation of the interior Guiana Plateau. *Journal of Ecology,* 24(1): 161-184.

Myers,N. (1989). Tropical Deforestation and Climatic Changes. *In*: A. Berger, S. Scheneider ; J. Cl. Duplessy (eds.) *Climate and Geo-Sciences*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Baixos. pp. 341-353.

Nelson,B.W. (1994). *Inventário florístico e fisionômico da Amazônia: tendência de amostragem nos herbários e o potencial do sensoriamento remoto*. Tese de Doutorado, INPA/FUA, Manaus.

Nepstad,D.; Klink,C; Uhl,C.; Vieira,I.C.; Lefebvre,P.; Pedlowski,M.; Matricardi,E.; Negreiros,G.; Brown,I.F.; Amaral.E.; Homma,A.; Walker,R. (1997). Land use in Amazonia and the Cerrado of Brazil. *Ciência e Cultura*, 49(1/2): 73-86.

Nicholls,N.; Gruza,G.V.; Jouzel,J.; Karl,T.R.; Ogallo,L.A.; Parker,D.E. (1996). Observed climate variability and change. *In: Climate Change 1995 - The Science of Climate Change*, IPCC/WGI. Cambridge Academic Press, USA. p. 133-192.

Oliveira-Filho,A.T.; Shepherd,G.J.; Martins,F.R.; Stubblebine,W.H. (1989). Environmental factors affecting physionomic and floristic variation in an area of cerrado in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 5: 413-431.

Olson,J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology,* 44(2):322-331.

Olson,J.S.; Pfuderer,H.A.; Chan,Y.H. (1978). *Changes in the global carbon cycle and the biosphere*. ORNL/EIS-109. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. EUA.

Olson,J.S.; Watts,J.A.; Allison,L.J. (1983). *Carbon in live vegetation of major world ecosystem*. Report TR004, DOE/NRB-0037. Washington DC, U. S. Dept. of Energy.

Pereira,E.B.; Setzer,A.W.; Gerab,F.; Artaxo,P.E.; Pereira,M.C. ; Monroe,G. (1996). Airborne measurements of aerosols from burning buimass in Brazil related to the TRACE A experiment. . *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 23983-23992.

Pereira,J.M.C.; Pereira,B.S.; Barbosa,P.; Stroppiana,D.; Vasconcelos,M.J.P. ; Grégorie,J.M. (1999). Satellite monitoring of fire in the EXPRESSO study area during the 1996 dry season exoeriment: Active fires, burnt area, and atmospheric emissions. *Journal of Geophysical Research*, 104 (D23): 30701-30712.

Phillips,O.L. (1996). Long-term environmental change in tropical forests: increasing tree turnover. *Environmental Conservation* 23(3): 235-248.

Phillips,O.L. ; Gentry,A.H. (1994). Increasing turnover through time in tropical forests. *Science* 263: 954-958.

Phillips,O.L.; Malhi,Y; Higuchi,N.; Laurance,W.F.; Nuñez,P.V.; Vásquez,R.M.; Laurance,S.L.; Ferreira,L.V.; Stern,M.; Brown,S. ; Grace,J. (1998). Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282: 439-441.

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.

Pivello,V.R.; Coutinho,L.M. (1996). A Qualitative successional modelo to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management*, 87: 127-138.

Post,W.M.; Emanuel,W.R.; Zinke,P.J.; Stangenberger,A.G. (1982). Soil carbon pools and world life zones. *Nature,* 298(5870): 156-159.

Poth,M., Anderson,I.C.; Miranda,H.S.; Miranda,A.C.; Riggan,P.J. (1995). The magnitude and persistence of soil NO, $N_2O$, $CH_4$, and $CO_2$ fluxes from burned tropical

savanna in Brazil. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(4): 503-513.

Rankin-de-Merona,J.; Hutchings,R.W.; Lovejoy,T.E. (1990). Tree mortality and recruitment over a five-year period in undisturbed upland rainforest of the Central Amazon. In: A. H. Gentry (ed.), *Four Neotropical Forests*. Yale University Press, New Haven. EUA. pp. 573-584.

Ratter,J.A. (1992). Transitions between cerrado and forest vegetation in Brazil. In: P. A. Furley; J. Proctor ; J. A. Ratter (eds.), *Nature and Dynamics of Savanna-forest Boundaries*. Chapman & Hall, Londres, Reino Unido. pp. 417-429.

Reid,J.S.; Hobbs,P.V. (1998). Physical and optical properties of young smoke from individual biomass fires in Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 103(D24): 32.013-32.030.

Riggan,P.J.; Brass,J.A.; Lockwood,R.N. (1993). Assessing fire emissions from tropical savanna and forests of Central Brazil. *Photogrammetric Engineering ; Remote Sensing*, 59(6): 1009-1015.

Rocha,H.R.; Nobre,C.A.; Bonatti,J.P.; Wright,I.R.; Sellers,P.J. (1996). A vegetation-atmosphere interation study for Amazonia deforestation using field data and a 'Single Column' Model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 122(531): 567-594.

Rodrigues,W.A. (1957). Lista dos nomes vernáculos da flora do Território do Rio Branco. INPA, Manaus. *Publicação nº 9 (Botânica)*.

Rodrigues,W.A. (1971). Plantas dos Campos do Rio Branco (Território de Roraima). In: M. G. Ferri (coord.), *III Simpósio sobre o Cerrado*, São Paulo. pp. 180-193.

Sanaiotti,T. 1996. *The woody flora and soils of seven Brazilian dry savanna areas*. Tese de Doutorado. University of Stirling, Escócia, Reino Unido. 145p.

Sanhueza,E. (1992). Global and atmospheric changes in tropospheric chemistry. *Interciência*, 17(4): 208-217.

Sanhueza,E.; Crutzen,P.J.; Fernández,E. (1999). Production of boundary layer ozone from tropical American savannah biomass burning emissions. *Atmospheric Environment*, 33: 4969-4975.

San José,J.J.; Medina,E. (1975). Effect of fire on organic matter production and water balance in a tropical savana. *In*: F. B. Golley ; E. Medina (eds.), *Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer-Verlag, New York. EUA. pp. 251-264.

San José,J.J.; Medina,E. (1977). Producción de materia orgánica en la sabana de Trachypogon, Calabozo, Venezuela. Bol. Soc. Venez. Cien. Nat., 134: 75-100.

San José,J.J.; Fariñas,M.R. (1983). Change in tree density and species composition in a protected Trachypogon savanna, Venezuela. *Ecology*, 64(3): 447-453.

San José,J.J.; Fariñas,M.R. (1991). Changes in the tree density and species composition in a protected Trachypogon savanna protected for 25 years. *Acta Oecologica*, 12 : 237-247.

San José,J.J.; Montes,R.A. (1997). Fire effects on the coexistence of trees and grasses in savannas and the resulting outcome on organic matter budget. *Interciencia*, 22(6): 289-298.

San José,J.J.; Berrade,F.; Ramirez,J. (1982). Seasonal changes of growth, mortality and disappearance of belowground root biomass in the Trachypogon savanna grass. *Acta Oecologica / Oecologia Plantarum*, 3(17): 347-353.

San José, J.J.; Montes,R.A.; Fariñas,M.R. (1998). Carbon stocks and fluxes in a temporal scaling from a savanna to a semi-deciduos forest. *Forest Ecology and*

*Management*, 105: 251-262.

Santos,A.J.B. (1999). Fluxos de energia, carbono e água em áreas de campo sujo. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, DF.

Santos,J.R.; Lacruz,M.S.P.; Araujo,L.S.; Xaud,H.A.M. (1998). El proceso de quema de biomasa de bosque tropical y sabanas en la Amazonia brasilera: experiencias de monitoreo con datos ópticos y de microondas. *Série Geográfica*, 7: 97-108.

Santos,U.M.; Bringel,S.R.B.; Ribeiro,M.N.G.; Silva,M.N.P. (1985). Rios da bacia Amazônica II. Os afluentes do rio Branco. *Acta Amazonica,* 15(1-2): 147-156.

Sarmiento,G.; Monasterio,M. (1975). A critical consideration of the environmenatl conditions associated with the occurrence of Savanna ecosystems in Tropical America. *In*: F. B. Golley ; E. Medina (eds.), *Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer-Verlag, New York, EUA. pp. 223-250.

Sarmiento,G.; Vera,M. (1979). Composisión, estructura, biomasa y produción de diferentes sabanas en los Llanos de Venezuela. Bol. Soc. Venez. Cien. Nat., 136: 5-41.

Sarmiento,G. (1984). *The Ecology of Neotropical Savannas*. Harvard University Press, Cambridge, Massachussets. EUA. 235p.

Sato,M.N.; Miranda,H.S. (1996). Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado *sensu stricto* submetidas a diferentes regimes de queima. *In*: H. S. Miranda; C. H. Saito ; B. F. S. Dias (org.), *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Universidade de Brasília, Brasília (DF). pp. 102-111. (Anais do Simpósio “Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais” - III Congresso de Ecologia do Brasil, 6 a 11 de outubro de 1996).

Skarpe,C. (1991). Impact of grazing in savanna ecosystems. *Ambio*, 20(8): 351-356.

Schaefer,C.E.; Dalrymple,J. (1995). Landscape evolution in Roraima, North Amazonia: Planation, paleosols and paleoclimates. *Z. Geomorph.* 39(1): 1-28.

Schimel,D.; Alves,D.; Enting,I.; Heimann,M,; Joos,F.; Raynaud,D.; Wigley,T.; Prather,M.; Derwent,R.; Ehhalt,D.; Fraser,P.; Sanhueza,E.; Zhou,X.; Jonas,P.; Charlson,R.; Rodhe,H.; Sadasivan,S.; Shine,K.P.; Fouquart,Y.; Ramaswany,V.; Solomon,S.; Srinivasan,J.; Albritton,D.; Derwent,R.; Isaksen,I.; Lal,M.; Wuebbles,D. (1996). Radiative forcing of climate change. In: Houghton,J.T.; Meira Filho,L.G.; Callander,B.A.; Harris,N.; Kattenberg,A.; Maskell,K. (eds), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. pp. 65-131.

Scholes,R.J. (1995). Greenhouse gas emissions from vegetation fires in Southern Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 38: 169-179.

Scholes,R.J.; Kendall,J.D.; Justice,C.O. (1996). The quantity of biomass burned in Southern Africa. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19). 23667-23676.

Scholes,M.; Andreae,M.O. (2000). Biogenic and pyrogenic emissions from Africa and their impact on the Global Atmosphere. *Ambio*, 29(1): 23-29.

Schroeder,P.E.; Winjum,J.K. (1995). Assessing Brazil's carbon budget: II . Biotic fluxes and net carbon balance. *Forest Ecology and Management*, 75: 87-99.

Seiler,W. ; Crutzen,P.J. (1980). Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change*, 2: 207-247.

Setzer,A.W.; Pereira,M.C. (1991). Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emmissions. *Ambio,* 20(1): 19-22.

Shea,R.W.; Shea,B.W.; Kauffman,J.B.; Ward,D.E.; Haskins,C.I.; Scholes,M.C.

(1996). Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 23551-23568.

Sheil,D. (1995). Evaluating turnover in tropical forests. *Science*, 268: 894.

Shimabukuro,Y.E.; Krug,T.; Santos,J.R.; Novo,E.M.; Yi,J.L.R. (2000). Roraima - O incêndio visto do espaço. *Ciência Hoje*, 27(157): 32-34.

Shukla,J.; Nobre,C. ; Sellers,P. (1990). Amazon Deforestation and Climate Change. *Science,* 247: 1322-1325.

Siqueira,S.C.P.; Araújo Neto,R.B.; Girardi,J.L.; do Ó,W.C.R.; Souza e Silva,S.M. (1994). Efeito do fogo e da roçagem em pastagem nativa do cerrado de Roraima em diferentes freqüências e épocas. Ano I . *Pesquisa em Andamento* (EMBRAPA-CPAF/Roraima), 4, 1-3.

Silva,J.F. (1996). Biodiversity and Stability in Tropical Savannas. *In*: O. T. Solbrig, E. Medina ; J. F. Silva (eds.), *Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes - A Global Perspective*. Springer-Verlag. Berlim-Heidelberg, Alemanha. pp. 161-171.

Silva,G.T. (1999). Fluxos de $CO_2$ em um campo sujo submetido a queimada prescrita. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, DF.

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*: H. S. Miranda; C. H. Saito ; B. F. S. Dias (org.), *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Universidade de Brasília, Brasília (DF). pp. 93-101. (Anais do Simpósio “Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais” - III Congresso de Ecologia do Brasil, 6 a 11 de outubro de 1996).

Skole,D.; Tucker,C. (1993). Tropical Deforestation and habitat fragmentation in the

Amazon satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260: 1905-1910.

Solbrig,O.T. (1996). The diversity of the savana ecosystem. *In*: O. T. Solbrig, E. Medina ; J. F. Silva (eds.), *Biodiversity and Savanna Ecosystem Processes - A Global Perspective*. Springer-Verlag. Berlim-Heidelberg, Alemanha. pp. 1-27.

Sombroek,W.G.; Nachtergaele,F.O.; Hebel,A. (1993). Amounts, Dynamics and Sequesttering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio,* 22(7): 417-426.

Souza,E.B.; Kayano,M.T.; Tota,J.; Pezzi,L.; Fisch,G.; Nobre,C. (2000). On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonia rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica*, 30(2): 305-318.

SUDAM/IBGE (1989). *Mapa de Vegetação da Amazônia* (Escala 1:2.500.000). Superintendência do Desenvolvimento para a Amazônia / Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Belém, Pará.

Summers,P.M. (1998). *Estoque, Decomposição e Nutrientes da Liteira Grossa em Florestas de Terra-firme, na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado. INPA/FUA, Manaus. 121p.

Takeuchi,M. (1960). A estrutura da vegetação da Amazônia II. As savanas do norte da Amazônia. *Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi,* 7 (Bot.): 1-14.

Tian,H.; Melillo,J.M.; Kicklighter,D.W.; McGuire,A.D.; Helfrich,J.V.K.; Moore,B.M.; Vörösmarty,C.J. (1998). Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. *Nature,* 396: 664-667.

Thompson,A.N.; Cicerone,R.J. (1986). Possible pertubations to atmospheric CO, $CH_4$, and OH. *Journal of Geophysical Research*, 91(D10): 10853-10864.

Trugilho,P.F.; Silva,D.A.; Frazão,F.J.L.; Matos,J.L.M. (1989). Comparação de

métodos de determinaçãoda densidade básica em madeira. *In: III Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira*. São Carlos, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos (26 a 28 de julho de 1989). pp. 163-179.

Tucker,C.J. (1978). A compararison of satellite sensor bands for vegetation monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(11): 1369-1380.

Vanderlei Martins,J.; Artaxo,P.; Liousse,P.; Reid,J.S.; Hobbs,P.V.; Kaufman,Y.J. (1998). Effects of black carbon content, particle size, and mixing on light absorption by aerosols from biomass burning in Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 103(D24): 32.041-32.050.

Vanzolini,P.E.; Carvalho,C.M. (1991). Two sibling and sympatric species of *Gymnophtalmus* in Roraima, Brasil (Sauria, Teiidae). *Papéis Avulsos de Zoologia* 37(12): 173-226.

Vogl,R.J. (1974). Effects on fire in grasslands. *In*: T. T. Kozlowski ; C. E. Ahlgren (eds.), *Fire and Ecosystems*. Academic Press, New York. EUA. pp. 139-194.

Ward,D.E.; Hardy, C.C. (1991). Smoke emissions from wildfires. *Environ. Int.*, 17: 117-134.

Ward,D.E.; Setzer,A.W.; Kaufman,Y.J.; Rasmussen,R.A. (1991). Characteristics of smoke emissions from biomass fires of the Amazon region : BASE-A Experiment. *In*: J. S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning - Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts. EUA. pp. 394-402.

Ward,D.E.; Sussot,R.A.; Kauffman,J.B. Babbitt,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(D13): 14601-14619.

Ward,D.E.; Hao,W.M.; Sussot,R.A.; Babbitt,R.E.; Shea,R.W.; Kauffman,J.B.; Justice,C.O. (1996). Effect of fuel composition on combustion efficiency and emission factors for African savanna ecosystem. *Journal of Geophysical Research*, 101(D19): 23569-23576.

Watson,R.T.; Zymyowera,M.C.; Moss,R.H.; Dokken,D.J. (1996). *Climate Change 1995 - Impacts, Adaptations and Mitigations of Climate Change : Scientific-Technical Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 876 p.

Wonnacott,T.H.; Wonnacott,R.J. 1977. *Introductory Statistics*. John Wiley & Sons. New York, EUA. 650p.

Woodwell,G.M. (1978). The Biota and the World Carbon Budget. *Science* 199: 141-146.

Woodwell,G.M. (1984). The carbon dioxide problem. *In*: G. M. Woodwell (ed.) *The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: Measurement by Remote Sensing* (SCOPE 23), John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. pp. 3-17.

World Resources (1990). *World Resource 1990-91*. A Report by The World Resources Institute. United Nations Environmental Programme (UNEP) & United Nations Development Programme (UNDP). Oxford University Press, Oxford. Reino Unido. 383p.

Xaud,H.A.M. (1998a). *Vegetação e ambiente no Estado de Roraima em uma área de mosaico savana-floresta: sobre critérios de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica*. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos Campos. 179p.

Xaud,M.R. (1998b). *Avaliação de dados TM/LANDSAT e SAR-JERS na caracterização da cobertura vegetal e distribuição de fitomassa em área de contato floresta/savana no Estado de Roraima, Brasil*. Dissertação de Mestrado. INPE, São

José dos Campos. 151p.

Zar,J.H. (1974). *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall / Englewood Cliffs. New Jersey, EUA. 620p.

# ANEXO I

## *Ajuste de Área Queimada (%) do Transecto Terrestre através da Ponderação com o Transecto Aéreo*

| Paisagem | Área Total da Paisagem $km^2$ | Área Coberta Tr. Terrestre $km^2$ | Área Coberta Tr. Aéreo $km^2$ | Área Queimada (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Terrestre | Aéreo | Ajustada (pond.) |
| Sg | 15057 | 8505 | 6552 | 38.1 | 93.8 | **62.3** |
| Sp | 11674 | 7742 | 3931 | 51.1 | 95.8 | **66.1** |

# ANEXO II

## *Localidades de Coletas*

Em cada eco-região de savana, foram selecionadas localidades para a coleta de material botânico, quantificação dos parâmetros de cálculos (biomassa acima do solo e fator de combustão), experimentação com mortalidade / recrutamento e decomposição da necromassa lenhosa. As áreas[(2)] foram escolhidas segundo critérios de facilidade nas coletas de campo (apoio logístico) e seguindo uma média da paisagem dominante em cada eco-região. Isto resultou na escolha das seguintes áreas e localidades adjacentes:

*a) Biomassa Rasteira (método direto)*

| Paisagem | Localidade | Data mês/ano | Latitude (N) | Longitude (W) | Observação |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sg** | Água Boa | 01-02/95 | 02º 39' 21" | 60º 50' 13" | EMBRAPA |
| | Monte Cristo | 01/95 | 02º 56' 47" | 60º 43' 02" | EMBRAPA |
| **Sp** | Contão | 01/99 | 04º 10' 16" | 60º 32' 40" | RR 202 |
| | Placa | 01/99 | 04º 10' 41" | 60º 31' 07" | RR 202 |
| | Taba Lascada | 01/98 | 02º 44' 09" | 60º 33' 24" | RR 207 |
| **Tp** | Faz. Eldorado | 01/98 | 04º 17' 49" | 60º 30' 23" | RR 171 |
| | Faz. São Luiz | 01/99 | 04º 22' 38" | 60º 24' 39" | RR 171 |

(2) As coordenadas geográficas foram tomadas pelo GPS-300 (MAGELLAN), sob o "Modelo da Terra" WSG-84.

*b) Biomassa Arbórea*

| Paisagem e Sub-divisões | Localidade | Data mês/ano | Latitude (N) | Longitude (W) | Observação |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sg** | | | | | |
| Rala | Passarão | 04/97 | 02º 59' 58" | 60º 43' 54" | RR 319 |
| | Ig. Saúba | 08/97 | 03º 11' 39" | 60º 50' 00" | BR 174 (p. Pau Rainha) |
| Média | Água Boa | 04/97 | 02º 39' 22" | 60º 50' 13" | C. E. EMBRAPA |
| | Ig do Gentil | 08/97 | 02º 59' 47" | 60º 25' 28" | BR 401 (p. Eucaliptal) |
| Densa | Murupu | 04/97 | 03º 01' 27" | 60º 46' 42" | BR 174 (p. F. Bamerindus) |
| | Ig. do Gentil | 08/97 | 02º 52' 20" | 60º 32' 42" | BR 401 (Surrão) |
| **Sp** | | | | | |
| Rala | Ig. Maiutzi | 10/97 | 03º 56' 59" | 60º 25' 23" | RR 202 |
| | Mal. Machado | 10/97 | 04º 10' 14" | 60º 35' 49" | RR 202 |
| | Mal. Malacacheta | 10/97 | 02º 41' 48" | 60º 29' 17" | RR 207 |
| | Alto Alegre | 10/97 | 02º 59' 11" | 61º 06' 16" | RR 205 (km 56,5) |
| Média | Olho D'Água/Placa | 10/97 | 04º 09' 28" | 60º 29' 37" | RR 202 |
| | Contão/Surumu | 10/97 | 04º 10' 08" | 60º 33' 53" | RR 202 |
| | F. Casa de | 10/97 | 02º 46' 20" | 60º 35' 29" | RR 207 |
| | Campos | 10/97 | 04º 59' 34" | 60º 07' 19" | RR 205 (km 59) - Chopinho |
| | Alto Alegre | | | | |
| Densa | | 10/97 | 04º 10' 21" | 60º 35' 04" | RR 202 |
| | Mal. Machado I | 10/97 | 04º 10' 28" | 60º 35' 03" | RR 202 |
| | Mal. Machado II | 10/97 | 04º 10' 17" | 60º 36' 22" | RR 202 |
| | Mal. Machaco III | 10/97 | 02º 43' 29" | 60º 32' 41" | RR 207 |
| | Taba Lascada | 10/97 | 02º 57' 00" | 60º 03' 49" | RR 205 (km 51) |
| | Alto Alegre | | | | |
| **Tp** | | | | | |
| Rala | Faz. Eldorado | 10/97 | 04º 15' 18" | 60º 30' 40" | RR 171 (Ald. São Mateus) |
| | Médio Cotingo | 10/97 | 04º 21' 45" | 60º 27' 00" | RR 171 (p. F. São Luiz) |
| Média | Médio Cotingo | 10/97 | 04º 22' 05" | 60º 25' 50" | RR 171 |
| | Entrada Uiramutã | 12/97 | 04º 29' 26" | 60º 15' 42" | RR 171 |
| | Pedra Branca I | 12/97 | 04º 27' 02" | 60º 16' 57" | RR 171 |
| | Pedra Branca II | 12/97 | 04º 23' 23" | 60º 22' 51" | RR 171 |
| Densa | Alto/Médio Cotingo | 12/97 | 04º 25' 22" | 60º 19' 35" | RR 171 (pé da serra) |
| | Ig. Cambarú | 12/97 | 04º 24' 04" | 60º 21' 28" | RR 171 |
| | Médio Cotingo | 12/97 | 04º 22' 06" | 60º 26' 18" | RR 171 |

*c) Fator de Combustão da Biomassa Arbórea*

| Paisagem(1) | Localidade | Data mês/ano | Latitude (N) | Longitude (W) | Observação |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sg** | Água Boa (ig.) | 01/98 | 02º 42' 31" | 60º 50' 10" | p. Faz. Pau Rainha |
| | F. Santa Fé | 01/98 | 02º 57' 58" | 60º 44' 27" | p. Est. Passarão |
| **Sp** | Alto Alegre | 01/98 | 02º 54' 12" | 60º 54' 35" | RR 205 (km 25) |
| | Taba Lascada | 01/98 | 02º 44' 09" | 60º 33' 24" | RR 207 |

(1) Tp foi avaliada pelos resultados de Sg e Sp.

*d) Mortalidade/Recrutamento da Biomassa Arbórea e Decomposição da Necromassa*

| Paisagem(1) | Localidade | Data (1) mês/ano | Longitude (W) | Latitude (N) | Longitude (W) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sg** | Água Boa | 12/94 | 02º 39' 22" | 60º 50' 13" | EMBRAPA |
| | e | a | | | |
| | Monte Cristo | 08/98 | 02º 56' 47" | 60º 43' 03" | EMBRAPA |

(1) *Mortalidade* : 02/95(primeira medição) a 08/98 (final) e *Decomposição* : 10/93 (primeiras árvores tombadas) - 12/94 (primeiras medições) a 05/98 (últimas medidas).

# ANEXO III

## *Roteiro de cálculo do IPCC para Carbono Total Liberado*

Para a aplicação dos cálculos propostos pelo IPCC/OECD (1994c) e IPCC (1997), foram quantificados os seguintes passos:

a) A área das eco-regiões estudadas;

b) Área de cada eco-região que é queimada anualmente, em porcentagem = fração da área que queima;

c) Média da biomassa seca acima do solo, por unidade de área, por paisagem de savana;

d) Fração média da biomassa acima do solo que queima no ato da passagem do fogo (Fator de Combustão);

e) Porcentagem de biomassa viva e morta;

f) Eficiência de queimada (fração queimada) da biomassa viva e da morta;

g) Concentração de carbono na biomassa viva e morta;

As equações abaixo relacionadas sumarizam os cálculos:

*Equação 1*

Área da Savana Queimada Anualmente (ha) =

Total da Área da Savana (ha) x Fração Queimada Anualmente

*Equação 2*

Biomassa Queimada (t) =

Resultado de 1 x Biomassa Seca Acima do Solo (t/ha) x Fração Anualmente Queimada

*Equação 3*

Carbono Liberado da Biomassa Viva (t C) =

Resultado de 2 x % Biomass Viva x Eficiência de Queimada/Viva (%) x Conteúdo Carbono Biomassa Viva (t C/t métrica)

*Equação 4*

Carbono Liberado da Biomassa Morta (t C) =

Resultado de 2 x % Biomassa Morta x Eficiência de Queimada/Morta (%) x Conteúdo Carbono Biomassa Morta (t C/t métrica)

*Equação 5*

Total de Carbono Liberado (t C) =

Resultado de 3 + Resultado de 4

## ANEXO IV

### *Densidade Básica (g.cm$^{-3}$) de diferentes grupos de espécies nas savanas Sg, Sp e Tp do norte/nordeste de Roraima*

| Paisagem | Código da Árvore | Identificação | Classe | Local | Volume Real (cm$^3$) | Peso Seco (g) | Densidade Básica (g/cm$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sg | 42 | caimbé | < 5 | PAS | 70.0 | 21.0 | 0.300 |
| Sg | 89 | caimbé | < 5 | MC | 163.0 | 52.0 | 0.319 |
| Sg | 90 | caimbé | < 5 | MC | 174.0 | 55.0 | 0.316 |
| Sg | 113 | caimbé | < 5 | AA | 145.0 | 39 | 0.269 |
| Sg | I | caimbé | < 5 | MC | 94.0 | 40.6 | 0.432 |
| Sg | II | caimbé | < 5 | MU | 94.0 | 31.8 | 0.339 |
| Sg | III | caimbé | < 5 | MU | 63.0 | 29.5 | 0.468 |
| Sg | 89 | caimbé | 5-10 | MC | 221.0 | 78.0 | 0.353 |
| Sg | 90 | caimbé | 5-10 | MC | 233.0 | 83.0 | 0.356 |
| Sg | 113 | caimbé | 5-10 | AA | 158.0 | 64 | 0.405 |
| Sg | I | caimbé | 5-10 | MC | 295.0 | 186.9 | 0.633 |
| Sg | II | caimbé | 5-10 | MU | 91.0 | 47.4 | 0.521 |
| Sg | III | caimbé | 5-10 | MU | 54.0 | 32.7 | 0.606 |
| Sg | 89 | caimbé | > 10 | MC | 283.0 | 108.0 | 0.382 |
| Sg | 90 | caimbé | > 10 | MC | 285.0 | 99.0 | 0.347 |
| Sg | I | caimbé | > 10 | MC | 344.0 | 193.7 | 0.563 |
| Sg | II | caimbé | > 10 | MU | 305.5 | 170.1 | 0.557 |
| Sg | III | caimbé | > 10 | MU | 289.0 | 143.8 | 0.498 |
| Sg | 1 | mirixi | < 5 | MC | 188.0 | 56.0 | 0.298 |
| Sg | 2 | mirixi | < 5 | MC | 182.0 | 56.0 | 0.308 |
| Sg | 3 | mirixi | < 5 | MC | 247.0 | 73.0 | 0.296 |
| Sg | 4 | mirixi | < 5 | MC | 189.0 | 61.0 | 0.323 |
| Sg | 5 | mirixi | < 5 | AB | 170.0 | 47.0 | 0.276 |
| Sg | 6 | mirixi | < 5 | AB | 136.0 | 45.0 | 0.331 |
| Sg | 7 | mirixi | < 5 | AB | 128.0 | 56.0 | 0.438 |
| Sg | 17 | mirixi | < 5 | MC | 249.0 | 89.0 | 0.357 |
| Sg | 18 | mirixi | < 5 | MC | 284.0 | 97.0 | 0.342 |
| Sg | 19 | mirixi | < 5 | MC | 262.0 | 73.0 | 0.279 |
| Sg | 20 | mirixi | < 5 | AB | 259.0 | 87.0 | 0.336 |
| Sg | 29 | mirixi | < 5 | MU | 169.0 | 57.0 | 0.337 |

CONT. ...

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sg | 34 | mirixi | < 5 | MU | 181.0 | 56.0 | 0.309 |
| Sg | 38 | mirixi | < 5 | MU | 63.0 | 13.0 | 0.206 |
| Sg | 39 | mirixi | < 5 | MU | 63.0 | 17.0 | 0.270 |
| Sg | 17 | mirixi | 5-10 | MC | 250.0 | 90.0 | 0.360 |
| Sg | 18 | mirixi | 5-10 | MC | 229.0 | 89.0 | 0.389 |
| Sg | 19 | mirixi | 5-10 | MC | 202.0 | 84.0 | 0.416 |
| Sg | 20 | mirixi | 5-10 | AB | 281.0 | 134.0 | 0.477 |
| Sg | 29 | mirixi | 5-10 | MU | 248.0 | 113.0 | 0.456 |
| Sg | 34 | mirixi | 5-10 | MU | 256.0 | 111.0 | 0.434 |
| Sg | I | mirixi | 5-10 | MU | 139.0 | 64.0 | 0.460 |
| Sg | II | mirixi | 5-10 | MU | 199.0 | 87.0 | 0.437 |
| Sg | 29 | mirixi | > 10 | MU | 253.0 | 130.0 | 0.514 |
| Sg | 34 | mirixi | > 10 | MU | 259.0 | 111.0 | 0.429 |
| Sg | I | mirixi | > 10 | MU | 374.0 | 172.0 | 0.460 |
| Sg | II | mirixi | > 10 | MU | 285.0 | 130.0 | 0.456 |
| Sg | 23 | out(B.v.) | < 5 | MC | 228.0 | 68.0 | 0.298 |
| Sg | 24 | out(B.v.) | < 5 | AB | 161.0 | 45.0 | 0.280 |
| Sg | 32 | out(B.v.) | < 5 | AB | 132.0 | 41.0 | 0.311 |
| Sg | 35 | out(B.v.) | < 5 | PAS | 63.0 | 23.0 | 0.365 |
| Sg | 36 | out(B.v.) | < 5 | PAS | 114.0 | 24.0 | 0.211 |
| Sg | 37 | out(B.v.) | < 5 | PAS | 32.0 | 9.0 | 0.281 |
| Sg | I | out(B.v.) | < 5 | AB | 93.0 | 30.0 | 0.323 |
| Sg | 27 | out(des) | < 5 | MC | 102.0 | 36.0 | 0.353 |
| Sg | 33 | out(des) | < 5 | AB | 219.0 | 67.0 | 0.306 |
| Sg | 111 | out(des) | < 5 | MU | 190.0 | 94 | 0.495 |
| Sg | I | out(des) | < 5 | AB | 75.0 | 30.0 | 0.400 |
| Sg | 26 | out(suc) | < 5 | MC | 84.0 | 34.0 | 0.405 |
| Sg | 31 | out(suc) | < 5 | AB | 123.0 | 33.0 | 0.268 |
| Sg | 41 | out(suc) | < 5 | MU | 38.0 | 14.0 | 0.368 |
| Sg | 112 | out(suc) | < 5 | TRU | 104.0 | 34 | 0.327 |
| Sg | I | out(suc) | < 5 | AB | 83.0 | 27.0 | 0.325 |
| Sg | 32 | out(B.v.) | 5-10 | AB | 147.0 | 61.0 | 0.415 |
| Sg | I | out(B.v.) | 5-10 | AB | 150.0 | 61.0 | 0.407 |
| Sg | 33 | out(des) | 5-10 | AB | 159.0 | 94.0 | 0.591 |
| Sg | 111 | out(des) | 5-10 | MU | 96.0 | 55 | 0.573 |
| Sg | I | out(des) | 5-10 | AB | 148.0 | 80.0 | 0.541 |
| Sg | 31 | out(suc) | 5-10 | AB | 208.0 | 54.0 | 0.260 |
| Sg | 112 | out(suc) | 5-10 | TRU | 168.0 | 59 | 0.351 |
| Sg | I | out(suc) | 5-10 | AB | 160.0 | 57.0 | 0.356 |
| Sg | I | out(B.v.) | > 10 | AB | 238.0 | 99.0 | 0.416 |
| Sg | 111 | out(des) | > 10 | MU | 166.0 | 104 | 0.627 |
| Sg | I | out(des) | > 10 | AB | 504.0 | 247.0 | 0.490 |
| Sg | 112 | out(suc) | > 10 | TRU | 290.0 | 114 | 0.393 |
| Sg | I | out(suc) | > 10 | AB | 414.0 | 147.0 | 0.355 |

| Paisagem | Código da Árvore | Identificação | Classe | Local | Volume Real ($cm^3$) | Peso Seco (g) | Densidade Básica ($g/cm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sp | 10 | caimbé | < 5 | GUA | 155.0 | 44.0 | 0.284 |
| Sp | 11 | caimbé | < 5 | CO | 71.0 | 23.0 | 0.324 |
| Sp | 21 | caimbé | < 5 | GUA | 206.0 | 60.0 | 0.291 |
| Sp | 25 | caimbé | < 5 | GUA | 173.0 | 42.0 | 0.243 |
| Sp | 73 | caimbé | < 5 | TM | 130.0 | 48.0 | 0.369 |
| Sp | 74 | caimbé | < 5 | TM | 212.0 | 64.0 | 0.302 |
| Sp | 75 | caimbé | < 5 | TM | 262.0 | 65.0 | 0.248 |
| Sp | 76 | caimbé | < 5 | TM | 234.0 | 61.0 | 0.261 |
| Sp | 77 | caimbé | < 5 | TM | 203.0 | 39.0 | 0.192 |
| Sp | 78 | caimbé | < 5 | TM | 207.0 | 50.0 | 0.242 |
| Sp | 79 | caimbé | < 5 | TM | 90.0 | 29.0 | 0.322 |
| Sp | 80 | caimbé | < 5 | TM | 178.0 | 43.0 | 0.242 |
| Sp | 81 | caimbé | < 5 | TM | 128.0 | 46.0 | 0.359 |
| Sp | 21 | caimbé | 5-10 | GUA | 357.0 | 127.0 | 0.356 |
| Sp | 25 | caimbé | 5-10 | GUA | 286.0 | 122.0 | 0.427 |
| Sp | 73 | caimbé | 5-10 | TM | 256.0 | 89.0 | 0.348 |
| Sp | 74 | caimbé | 5-10 | TM | 265.0 | 94.0 | 0.355 |
| Sp | 75 | caimbé | 5-10 | TM | 192.5 | 93.0 | 0.483 |
| Sp | 76 | caimbé | 5-10 | TM | 205.0 | 80.0 | 0.390 |
| Sp | 77 | caimbé | 5-10 | TM | 142.0 | 53.0 | 0.373 |
| Sp | 78 | caimbé | 5-10 | TM | 245.0 | 89.0 | 0.363 |
| Sp | 79 | caimbé | 5-10 | TM | 115.0 | 47.0 | 0.409 |
| Sp | 80 | caimbé | 5-10 | TM | 203.0 | 69.0 | 0.340 |
| Sp | 81 | caimbé | 5-10 | TM | 111.0 | 52.0 | 0.468 |
| Sp | 25 | caimbé | > 10 | GUA | 279.0 | 117.0 | 0.419 |
| Sp | 73 | caimbé | > 10 | TM | 279.0 | 108.0 | 0.387 |
| Sp | 74 | caimbé | > 10 | TM | 256.0 | 110.0 | 0.430 |
| Sp | 75 | caimbé | > 10 | TM | 278.0 | 126.0 | 0.453 |
| Sp | 76 | caimbé | > 10 | TM | 248.0 | 106.0 | 0.427 |
| Sp | 8 | mirixi | < 5 | GUA | 139.0 | 44.0 | 0.317 |
| Sp | 9 | mirixi | < 5 | GUA | 84.0 | 30.0 | 0.357 |
| Sp | 12 | mirixi | < 5 | CO | 113.0 | 50.0 | 0.442 |
| Sp | 13 | mirixi | < 5 | CO | 220.0 | 68.0 | 0.309 |
| Sp | 22 | mirixi | < 5 | CO | 127.0 | 42.0 | 0.331 |
| Sp | 105 | mirixi | < 5 | CO | 172.0 | 62 | 0.360 |
| Sp | 106 | mirixi | < 5 | CO | 235.0 | 94 | 0.400 |

CONT. ...

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sp | 114 | mirixi | < 5 | CO | 142.0 | 47 | 0.331 |
| Sp | 115 | mirixi | < 5 | CO | 159.0 | 66 | 0.415 |
| Sp | 116 | mirixi | < 5 | CO | 150.0 | 46 | 0.307 |
| Sp | 119 | mirixi | < 5 | AA | 58.0 | 27 | 0.466 |
| Sp | 22 | mirixi | 5-10 | CO | 144.0 | 61.0 | 0.424 |
| Sp | 105 | mirixi | 5-10 | CO | 168.0 | 76 | 0.452 |
| Sp | 106 | mirixi | 5-10 | CO | 271.0 | 124 | 0.458 |
| Sp | 114 | mirixi | 5-10 | CO | 137.0 | 57 | 0.416 |
| Sp | 115 | mirixi | 5-10 | CO | 101.0 | 49 | 0.485 |
| Sp | 116 | mirixi | 5-10 | CO | 152.0 | 65 | 0.428 |
| Sp | 105 | mirixi | > 10 | CO | 247.0 | 105 | 0.425 |
| Sp | 106 | mirixi | > 10 | CO | 252.0 | 124 | 0.492 |
| Sp | 85 | out(B.v.) | < 5 | TM | 153.0 | 41.0 | 0.268 |
| Sp | 86 | out(B.v.) | < 5 | TM | 46.0 | 21.0 | 0.457 |
| Sp | 87 | out(B.v.) | < 5 | TM | 168.0 | 48.0 | 0.286 |
| Sp | 123 | out(B.v.) | < 5 | CO | 138.0 | 49 | 0.355 |
| Sp | 83 | out(des) | < 5 | TM | 51.0 | 15.0 | 0.294 |
| Sp | 107 | out(des) | < 5 | CO | 120.0 | 65 | 0.542 |
| Sp | 109 | out(des) | < 5 | AA | 120.0 | 38 | 0.317 |
| Sp | 124 | out(des) | < 5 | CO | 125.0 | 56 | 0.448 |
| Sp | 82 | out(par) | < 5 | TM | 159.0 | 79.0 | 0.497 |
| Sp | 84 | out(par) | < 5 | TM | 49.0 | 34.0 | 0.694 |
| Sp | 108 | out(par) | < 5 | AA | 115.0 | 43 | 0.374 |
| Sp | 88 | out(suc) | < 5 | TM | 104.0 | 34.0 | 0.327 |
| Sp | 110 | out(suc) | < 5 | AA | 143.0 | 51 | 0.357 |
| Sp | 107 | out(des) | 5-10 | CO | 108.0 | 67 | 0.620 |
| Sp | 109 | out(des) | 5-10 | AA | 117.0 | 53 | 0.453 |
| Sp | 82 | out(par) | 5-10 | TM | 157.5 | 96.0 | 0.610 |
| Sp | 108 | out(par) | 5-10 | AA | 168.0 | 97 | 0.577 |
| Sp | 110 | out(suc) | 5-10 | AA | 145.0 | 51 | 0.352 |
| Sp | 107 | out(des) | > 10 | CO | 236.0 | 134 | 0.568 |
| Sp | 109 | out(des) | > 10 | AA | 206.0 | 73 | 0.354 |
| Sp | 82 | out(par) | > 10 | TM | 289.0 | 162.0 | 0.561 |
| Sp | 108 | out(par) | > 10 | AA | 168.0 | 89 | 0.530 |
| Sp | 110 | out(suc) | > 10 | AA | 136.0 | 59 | 0.434 |

| Paisagem | Código da Árvore | Identificação | Classe | Local | Volume Real ($cm^3$) | Peso Seco (g) | Densidade Básica ($g/cm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tp | 14 | caimbé | < 5 | EL | 106.0 | 31.0 | 0.292 |
| Tp | 16 | caimbé | < 5 | EL | 265.0 | 78.0 | 0.294 |
| Tp | 28 | caimbé | < 5 | EL | 182.0 | 50.0 | 0.275 |
| Tp | 30 | caimbé | < 5 | EL | 147.0 | 48.0 | 0.327 |
| Tp | 91 | caimbé | < 5 | SL | 158.0 | 48 | 0.304 |
| Tp | 92 | caimbé | < 5 | EL | 116.0 | 43 | 0.371 |
| Tp | 93 | caimbé | < 5 | SL | 116.0 | 39 | 0.336 |
| Tp | 94 | caimbé | < 5 | PB | 119.0 | 43 | 0.361 |
| Tp | 16 | caimbé | 5-10 | EL | 124.0 | 63.0 | 0.508 |
| Tp | 28 | caimbé | 5-10 | EL | 95.0 | 47.0 | 0.495 |
| Tp | 30 | caimbé | 5-10 | EL | 220.0 | 73.0 | 0.332 |
| Tp | 91 | caimbé | 5-10 | SL | 167.0 | 69 | 0.413 |
| Tp | 92 | caimbé | 5-10 | EL | 133.0 | 49 | 0.368 |
| Tp | 93 | caimbé | 5-10 | SL | 158.0 | 69 | 0.437 |
| Tp | 94 | caimbé | 5-10 | PB | 125.0 | 55 | 0.440 |
| Tp | 30 | caimbé | > 10 | EL | 220.0 | 94.0 | 0.427 |
| Tp | 91 | caimbé | > 10 | SL | 260.0 | 144 | 0.554 |
| Tp | 92 | caimbé | > 10 | EL | 258.0 | 92 | 0.357 |
| Tp | 93 | caimbé | > 10 | SL | 232.0 | 108 | 0.466 |
| Tp | 94 | caimbé | > 10 | PB | 201.0 | 96 | 0.478 |
| Tp | 95 | mirixi | < 5 | EL | 129.0 | 41 | 0.318 |
| Tp | 96 | mirixi | < 5 | SL | 133.0 | 47 | 0.353 |
| Tp | 97 | mirixi | < 5 | PB | 55.0 | 35 | 0.636 |
| Tp | 98 | mirixi | < 5 | PB | 102.0 | 35 | 0.343 |
| Tp | 99 | mirixi | < 5 | PB | 105.0 | 46 | 0.438 |
| Tp | 117 | mirixi | < 5 | EL | 154.0 | 48 | 0.312 |
| Tp | 118 | mirixi | < 5 | EL | 132.0 | 44 | 0.333 |
| Tp | 120 | mirixi | < 5 | SL | 137.0 | 47 | 0.343 |
| Tp | 121 | mirixi | < 5 | EL | 103.0 | 30 | 0.291 |
| Tp | 122 | mirixi | < 5 | EL | 70.0 | 27 | 0.386 |
| Tp | 15 | mirixi | < 5 | EL | 148.0 | 66.0 | 0.446 |
| Tp | 95 | mirixi | 5-10 | EL | 151.0 | 64 | 0.424 |
| Tp | 96 | mirixi | 5-10 | SL | 175.0 | 77 | 0.440 |
| Tp | 97 | mirixi | 5-10 | PB | 132.0 | 56 | 0.424 |
| Tp | 98 | mirixi | 5-10 | PB | 198.0 | 90 | 0.455 |
| Tp | 99 | mirixi | 5-10 | PB | 107.0 | 44 | 0.411 |

CONT. ...

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tp | 117 | mirixi | 5-10 | EL | 149.0 | 48 | 0.322 |
| Tp | 118 | mirixi | 5-10 | EL | 132.0 | 58 | 0.439 |
| Tp | 95 | mirixi | > 10 | EL | 246.0 | 101 | 0.411 |
| Tp | 96 | mirixi | > 10 | SL | 241.0 | 110 | 0.456 |
| Tp | 97 | mirixi | > 10 | PB | 158.0 | 50 | 0.316 |
| Tp | 98 | mirixi | > 10 | PB | 111.0 | 66 | 0.595 |
| Tp | 99 | mirixi | > 10 | PB | 90.0 | 49 | 0.544 |
| Tp | 104 | out(des) | < 5 | PB | 99.0 | 48 | 0.485 |
| Tp | 125 | out(des) | < 5 | SL | 162.0 | 56 | 0.346 |
| Tp | 126 | out(des) | < 5 | SL | 85.0 | 39 | 0.459 |
| Tp | 130 | out(des) | < 5 | SL | 125.0 | 46 | 0.368 |
| Tp | 100 | out(par) | < 5 | EL | 137.0 | 45 | 0.328 |
| Tp | 102 | out(par) | < 5 | SL | 197.0 | 90 | 0.457 |
| Tp | 127 | out(par) | < 5 | SL | 117.0 | 46 | 0.393 |
| Tp | 128 | out(par) | < 5 | EL | 100.0 | 29 | 0.290 |
| Tp | 129 | out(par) | < 5 | SL | 143.0 | 60 | 0.420 |
| Tp | 101 | out(suc) | < 5 | SL | 95.0 | 16 | 0.168 |
| Tp | 103 | out(suc) | < 5 | EL | 130.0 | 48 | 0.369 |
| Tp | 104 | out(des) | 5-10 | PB | 150.0 | 92 | 0.613 |
| Tp | 130 | out(des) | 5-10 | SL | 168.0 | 86 | 0.512 |
| Tp | 100 | out(par) | 5-10 | EL | 136.0 | 65 | 0.478 |
| Tp | 102 | out(par) | 5-10 | SL | 135.0 | 70 | 0.519 |
| Tp | 129 | out(par) | 5-10 | SL | 117.0 | 66 | 0.564 |
| Tp | 101 | out(suc) | 5-10 | SL | 154.0 | 59 | 0.383 |
| Tp | 103 | out(suc) | 5-10 | EL | 150.0 | 48 | 0.320 |
| Tp | 104 | out(des) | > 10 | PB | 190.0 | 110 | 0.579 |
| Tp | 100 | out(par) | > 10 | EL | 315.0 | 167 | 0.530 |
| Tp | 102 | out(par) | > 10 | SL | 175.0 | 98 | 0.560 |
| Tp | 101 | out(suc) | > 10 | SL | 211.0 | 100 | 0.474 |
| Tp | 103 | out(suc) | > 10 | EL | 217.0 | 100 | 0.461 |

AB = Agua Boa; MC = Monte Cristo; EL = Faz. Eldorado; MU = Murupu/Ig. do Sauba; TRU=Truaru/Ig.Sauba; GUA = Napoleao/Guariba; CO = Contao/Machado; PAS = Passarao; TM = Taba Lascada/Malacacheta; SL=Faz.São Luiz; AA=Alto Alegre/ Paredão; PB=Pedra Branca.

(1) Total de Amostras : 211 (104 de < 5, 65 de 5-10 e 42 com > 10).

(2) Total de Localidades : 11 (4 em Sg; 4 em Sp; 3 em Tp).

## ANEXO V

**Perdas médias por paisagem em função da proporção dos grupos de espécies distribuídos em cada uma delas**

**(Taxa Logarítimica Composta)**

| Paisagem e Intervalo de Tempo | Classes Diamétricas e de Contato com o Solo (1) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | > 10 | | | 5-10 | | | < 5 | | | Total | | |
| | sem | em | total | sem | em | total | sem | em | total | sem | em | Geral |
| **Sg** | | | | | | | | | | | | |
| 0-1 | -0.204 | -0.114 | -0.182 | -0.424 | -0.174 | -0.328 | -0.913 | 0.188 | -0.459 | -0.373 | -0.039 | **-0.262** |
| 1-2 | 0.292 | -0.089 | -0.494 | -1.127 | -0.280 | -0.564 | -1.145 | -0.240 | -0.679 | -1.028 | -0.168 | **-0.536** |
| 2-3 | 0.261 | -0.198 | -0.457 | -0.862 | -0.261 | -0.470 | -1.067 | -0.229 | -0.548 | -0.797 | -0.221 | **-0.471** |
| **Sp** | | | | | | | | | | | | |
| 0-1 | -0.207 | -0.158 | -0.196 | -0.476 | -0.188 | -0.365 | -0.995 | 0.036 | -0.554 | -0.395 | -0.105 | **-0.297** |
| 1-2 | 0.121 | -0.118 | -0.452 | -0.996 | -0.309 | -0.553 | -1.195 | -0.280 | -0.700 | -0.908 | -0.198 | **-0.512** |
| 2-3 | 0.083 | -0.239 | -0.449 | -0.786 | -0.283 | -0.470 | -1.168 | -0.267 | -0.580 | -0.737 | -0.257 | **-0.472** |
| **Tp** | | | | | | | | | | | | |
| 0-1 | -0.215 | -0.288 | -0.240 | -0.632 | -0.229 | -0.477 | -1.243 | -0.425 | -0.843 | -0.459 | -0.303 | **-0.402** |
| 1-2 | -0.398 | -0.204 | -0.323 | -0.599 | -0.396 | -0.521 | -1.345 | -0.399 | -0.766 | -0.545 | -0.288 | **-0.440** |
| 2-3 | -0.458 | -0.366 | -0.424 | -0.555 | -0.348 | -0.470 | -1.475 | -0.381 | -0.677 | -0.556 | -0.365 | **-0.476** |
| **Média** | | | | | | | | | | | | |
| 0-1 | -0.208 | -0.172 | -0.201 | -0.492 | -0.192 | -0.377 | -1.021 | -0.013 | -0.585 | -0.401 | -0.126 | **-0.308** |
| 1-2 | 0.065 | -0.127 | -0.438 | -0.954 | -0.318 | -0.550 | -1.211 | -0.292 | -0.707 | -0.869 | -0.207 | **-0.504** |
| 2-3 | 0.025 | -0.253 | -0.446 | -0.761 | -0.290 | -0.470 | -1.201 | -0.279 | -0.590 | -0.718 | -0.268 | **-0.473** |

(1) Valores positivos ou próximos de -1 denotam distorção na ponderação dos resultados entre os grupos de espécies e classes de diâmetro ou, transferência de material "sem" para "em" contato com o solo.

# ANEXO VI

## *Gases e Material Particulado Emitidos pela Queima e/ou Decomposição da Biomassa Vegetal*

### $CO_2$

(Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico)

É o principal gás emitido por queima de biomassa e possui a maior concentração atmosférica entre todos os que possuem algum efeito direto no balanço energético geral. Seu nível atmosférico cresceu de 280 ppmv no período pré-industrial para mais de 360 ppmv ao final de década de 1990. O forçamento radiativo devido a este incremento esta estimado em 1,56 $W.m^{-2}$. A taxa média de incremento atmosférico do $CO_2$ é da ordem de 0,4 % ou 1,5 $ppmv.ano^{-1}$.

### $CH_4$

(Metano)

Metano é um importante gás do efeito estufa também de efeito direto. Ele é lançado na atmosfera em quantidades menores do que a do $CO_2$. Entretanto, possui um potencial de aquecimento climático (GWP) 21 vezes superior se considerado um horizonte de tempo de 100 anos (ver SCHIMEL *et al.*, 1996). Seu maior papel é o de controlar a abundância de ozônio troposférico ($O_3$) que acaba funcionando como um gás do efeito estufa quando situado próximo da tropopausa. Além disto, ele também regula a concentração de radicais OH (pela oxidação em $CO_2$) que, por sua vez, controla o tempo de vida de outros gases com ação na química atmosférica (DICKINSON & CICERONE, 1986). Sua concentração saltou de 0,7 ppmv para mais de 1,7 ppmv desde o início do período pré-industrial. Considerando os níveis atuais, seu forçamento radiativo é da ordem de 0,47 $W.m^{-2}$.

## CO

(Monóxido de Carbono)

Este gás é produzido amplamente nos trópicos pela queima de biomassa (CRUTZEN, 1987). Ele não faz parte do grupo de gases do efeito estufa com ação direta no balanço energético da atmosfera (THOMPSON & CICERONE, 1986 ; CRUTZEN, 1995 ; SANHUEZA, 1992 ; SANHUEZA *et al.*, 1999). Entretanto, o CO afeta a capacidade de oxidação da atmosfera através de sua interação com radicais OH e, assim, indiretamente afeta a concentração de outros gases tais como o metano e o óxido nitroso. Neste sentido, se o $CO_2$ resultante do CO fosse contabilizado, seu GWP em um horizonte de tempo de 100 anos seria de 1,57 (FEARNSIDE, 2000a : p. 147) e, a quantificação de seu impacto seria modificada. Em geral, o CO é mais liberado nas fases de combustão incompleta do que dentro das fases de grande flamabilidade (DALE *et al.*, 1993).

## $N_2O$

(Óxido Nitroso)

Este gás também possui a capacidade de absorver os raios infra-vermelhos provenientes e contribui de forma direta no aquecimento global além de afetar a camada de ozônio na estratosfera (FEARNSIDE, 1997). O potencial de aquecimento climático (GWP) de uma molécula de $N_2O$ é 310 vezes maior do que de uma de $CO_2$ se considerado um horizonte de tempo de 100 anos (SCHIMEL *et al.*, 1990). Seu incremento anual desde o período pré-industrial alcança 275-310 ppbv e sua contribuição no forçamento radiativo é de 0,14 $W.m^{-2}$.

## **NOx** e **HCNM**

(Gases Nitrosos / Hidrocarbonos de Forma Não-Metânica)

Os $NO_x$ são gases nitrosos representados pelo somatório do NO e do $NO_2$. Os HCNM são principalmente formados por compostos aromáticos, alkanos e alkenos. O efeito destes dois conjuntos de gases ainda é desconsiderado dos cálculos do IPCC, muito embora eles tivessem sido citados como de efeito indireto nos relatórios do IPCC de 1990. Segundo FEARNSIDE (1997), estes gases foram retirados dos relatórios seguintes devido a discordâncias e pendências sobre a magnitude de seus efeitos. Da mesma forma que o CO, todos ainda são calculados com potencial de aquecimento considerado como 0 (zero) devido a recomendação do IPCC.

## **Aerosois**

(Material Particulado Lançado na Atmosfera)

Aerosol é um termo utilizado para designar o material particulado que é lançado na atmosfera (contabilizado diferentemente daquele depositado no solo juntamente com as cinzas) devido a queima da biomassa vegetal. São denominados troposféricos e/ou estratosféricos e podem afetar o forçamento radiativo de forma negativa e direta na ordem de -0,5 $W.m^{-2}$ (IPCC-WGI, 1995). Diferente dos gases do efeito estufa de longa vida, os aerosois possuem vida curta na atmosfera e incrementam ou decrescem em função das emissões pontuais.

## ANEXO VII

### *Cálculo dos Fatores de Emissão Pendentes para o Brasil*

**Exemplo para $N_2O$[3] :**

(1) Equação 1 :

$$\frac{((FE\ CO_2\ (Brasil) \times FE\ N_2O\ (África))}{(FE\ CO_2\ (África))}$$

(2) Equação 2 :

$$\frac{((FE\ CO\ (Brasil) \times FE\ N_2O\ (África))}{(FE\ CO\ (África))}$$

(3) Equação 3 :

$$\frac{((FE\ CH_4\ (Brasil) \times FE\ N_2O\ (África))}{(FE\ CH_4\ (África))}$$

(4) Equação 4 :

$$FE\ N_2O\ (Brasil\text{-}Estimado) = \frac{Eq.\ 1 + Eq.\ 2 + Eq.3}{3}$$

[3] FE = fator de emissão do gás por continente ou país. Para os demais gases estimados através deste método (HCNM e $NO_x$) apenas habilita-se o valor de cada um deles no respectivo lugar do atual exemplo com $N_2O$.

## ANEXO VIII

### *Relação N/C da Biomassa Total Presente nas Savanas (Sg, Sp , Tp) de Roraima*

| Paisagem | Componente da Vegetação | Relação N/C[(1)] | Média Ponderada |
|---|---|---|---|
| Sg | Rasteiro | 0,011694 | 0,011765 |
| | Arbóreo | 0,012324 | |
| Sp | Rasteiro | 0,011553 | 0,011159 |
| | Arbóreo | 0,010307 | |
| Tp | Rasteiro | 0,011378 | 0,010313 |
| | Arbóreo | 0,009425 | |
| Média Geral | - | - | **0.011** |

(1) Relação entre a concentração (%) de nitrogênio e de carbono por fração da biomassa vegetal. Para uso opcional das taxas de emissão molar como forma de calcular as emissões de gases do efeito estufa para savanas.