

**PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES AN-
TRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
DA QUEIMA DE BIOMASSA NO CERRADO
NÃO-ANTRÓPICO UTILIZANDO DADOS ORBITAIS**

Ministério da Ciência e Tecnologia
2006

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SERGIO MACHADO REZENDE

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
LUIZ ANTONIO BARRETO DE CASTRO

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES AN- TRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA QUEIMA DE BIOMASSA NO CERRADO NÃO-ANTRÓPICO UTILIZANDO DADOS ORBITAIS

Elaborado por:

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - IBAMA

SAIN Av. L4 Norte S/Nº Ed. Sede IBAMA – 70800-900 - Brasília - DF

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Rod. Brasília /Fortaleza - BR 020 Km 18 – 73301-970 Planaltina - DF

NATURE Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

Rua Letônia 598 - Jardim Aeroporto – 12231-150 - São José dos Campos - SP

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Rodovia Presidente Dutra, Km 39 – 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP

Universidade de Brasília - UnB

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte – 70910-970 - Brasília - DF

Autores:

Thelma Krug - INPE

Heloíso Bueno de Figueiredo - IBAMA

Edson Eyji Sano - EMBRAPA

Cláudio Aparecido de Almeida - NATURE

João Roberto dos Santos - NATURE

Heloísa Sinátora Miranda - UnB

Margarete Naomi Sato - UnB

Saulo Marques de Abreu Andrade - UnB

Ministério da Ciência e Tecnologia

2006

Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia

Para obter cópias adicionais deste documento ou maiores informações, entre em contato com:

Ministério da Ciência e Tecnologia

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima

Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 244

70067-900 - Brasília - DF

Telefone: 61-3317-7923 e 3317-7523

Fax: 61-3317-7657

e-mail: cpmg@mct.gov.br

<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Ricardo Leonardo Vianna Rodrigues

Mauro Meirelles de Oliveira Santos

Newton Paciornik

Tradução para o Português:

Anexandra de Ávila Ribeiro

Revisão de Editoração:

Mara Lorena Maia Fares

Anexandra de Ávila Ribeiro

Editoração Eletrônica:

Jorge Ribeiro

A realização deste trabalho em 2002 só foi possível com o apoio financeiro e administrativo do:

Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projeto BRA/95/G31

SCN Quadra 02 Bloco A - Ed. Corporate Center 7º Andar

70712-901 - Brasília - DF

Telefone: 61-3038-9300

Fax: 61-3038-9009

e-mail: registry@undp.org.br

<http://www.undp.org.br>

U.S. Country Studies Program

PO-2, Room GP-196

1000 Independence Avenue, SW

Washington, D.C. 20585 USA

Telefone: 1-202-426-1628

Fax: 1-202-426-1540/1551

e-mail: csmt@igc.apc.org

<http://www.gcric.org/CSP/webpage.html>

Agradecemos à equipe administrativa do GEF, do PNUD, em particular, a algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização deste trabalho não teria sido possível: Emma Torres, Richard Hosier e Vesa Rutanen, todos do PNUD/Nova York; Cristina Montenegro, do PNUD/Brasil, de 1985 a 1999, por seu apoio e incentivo em todos os momentos. A todas essas pessoas, por sua liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Introdução	11
Sumário Executivo	13
1 Introdução	15
2 O Cerrado Brasileiro	18
2.1 Generalidades	18
2.2 Combustível nas queimadas do cerrado	21
3 Objetivos	24
4 Metodologia	25
4.1 Metodologia utilizada para estimar as emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa	25
4.1.1 Seleção de uma amostra de cenas TM-Landsat que incluem a vegetação do cerrado	25
4.1.1.1 O conjunto de imagens da FUNCATE	25
4.1.1.2 Correção das datas de aquisição	28
4.1.2 Interpretação visual das imagens amostradas	29
4.1.3 Georeferenciamento dos polígonos que circunscrevem as áreas queimadas e importação dos mapas de vegetação	29
4.1.4 Cruzamento dos polígonos contendo as áreas queimadas com os mapas de vegetação	30
4.1.5 Estimativa do total da área queimada no cerrado	30
4.1.5.1 Estimativa da área queimada total	30
4.1.5.2 Dados históricos do NOAA	32
4.1.5.3 Estimativa do total da área queimada, por tipo de vegetação	34
4.1.6 Metodologia utilizada para estimar as emissões de gases de efeito estufa	34

4.1.6.1	Condições para o cálculo das emissões	34
4.1.6.2	Estimativa dos parâmetros	35
5	Resultados	38
5.1	Estimativas do total da área queimada no cerrado, a partir de uma amostra de cenas TM-Landsat	38
5.2	Estimativas das emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no cerrado não-antrópico, de acordo com a metodologia do IPCC (1997): “Queimada Prescrita de Savanas”	42
6	Comentários Finais	44
7	Referências Bibliográficas	46
8	Agradecimentos	50

Lista de Figuras

	Página
FIGURA 1 – Distribuição geográfica do cerrado	18
FIGURA 2 – Representação pictórica das fisionomias de vegetação mais comuns no cerrado	20
FIGURA 3 – Redução da cobertura de copa das árvores de um cerrado denso após uma queimada prescrita (21 de agosto de 1996) na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF	24

Lista de Tabelas

	Página
TABELA 1 – Consumo de combustível nas queimadas controladas em agosto, em uma área de campo sujo da Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF	22
TABELA 2 – Consumo de combustível nas queimadas controladas em agosto, em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> da Reserva Ecológica do IBGE, DF	22
TABELA 3 – Consumo de combustível nas queimadas controladas em agosto, em uma área de cerradão da Reserva Ecológica do IBGE, DF	23
TABELA 4 – Número total de cenas associadas com as possíveis combinações de classes de área e grau de intervenção humana e número de amostras de cenas	26
TABELA 5 – Amostras de cenas Landsat originais, área original de cerrado, data de aquisição e tipo(s) de ecossistema(s) presente(s) (C = cerrado; AG = agricultura/pastagens; F = floresta)	28
TABELA 6 – Número de focos de calor detectados pelo NOAA-12 no início da noite, durante a estação de queimadas, de 1996 a 1999, por estado	33
TABELA 7 – Média da densidade dos combustíveis da biomassa (em peso seco) para diferentes fisionomias de vegetação do cerrado	35
TABELA 8 – Fração da biomassa realmente queimada (eficiência média) para os diferentes tipos de fisionomias de vegetação no cerrado	36
TABELA 9 – Fração da biomassa viva queimada nas diferentes fisionomias de vegetação no cerrado	37
TABELA 10 – Fração da biomassa viva oxidada nas queimadas das diferentes fisionomias do cerrado	37
TABELA 11 – Fração da biomassa morta oxidada nas diferentes fisionomias do cerrado	38
TABELA 12 – Resumo das estatísticas para cada estrato, insumos para as equações. 4.1 e 4.2, em relação à amostragem estratificada	39
TABELA 13 – Distribuição do número total de focos de calor detectados	

pelo AVHRR/NOAA, em 1999, por mês da estação de queimadas e por tipo de fisionomia do cerrado, para as áreas deste estudo	40
TABELA 14 – Síntese das estimativas do total da área queimada nos diferentes tipos de fisionomias de vegetação	41
TABELA 15 – Área queimada nas diferentes fisionomias de vegetação do cerrado	41

Introdução

A questão do aquecimento global, difícil de ser compreendida por sua complexidade científica e a existência de poucos especialistas neste tema no Brasil, geralmente envolvidos com projetos considerados mais prioritários, tornam a elaboração do inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa um esforço complexo e pioneiro.

Há, além dessas dificuldades, a falta de material disponível em português sobre o assunto, a falta de conhecimento sobre as obrigações brasileiras no âmbito da Convenção, a falta de recursos para estudos mais abrangentes e dúvidas sobre os benefícios que adviriam para as instituições envolvidas nesse processo.

Outra dificuldade encontrada é o fato de a mudança do clima não ser um tema prioritário nos países em desenvolvimento, cujas prioridades referem-se ao atendimento de necessidades urgentes, nas áreas social e econômica, tais como a erradicação da pobreza, a melhoria das condições de saúde, o combate à fome, a garantia de condições dignas de moradia, entre outras. Neste sentido, os países em desenvolvimento, como o Brasil, confrontam-se com padrões do século 21, antes mesmo de haverem superado os problemas do século 19. O Brasil, entretanto, é um país em desenvolvimento que possui uma economia muito complexa e dinâmica. É o quinto país mais populoso e de maior extensão do mundo, oitava economia mundial, grande produtor agrícola e um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo.

Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor no setor energético. Isso se deve ao fato de ser o Brasil um país tropical, com invernos moderados e por mais de 60% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis. Mais de 95% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e há uma ampla utilização de biomassa (utilização de álcool nos veículos, uso do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de vapor, uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica, etc.). Além disso, programas de conservação de energia têm buscado, desde meados da década de 80, melhorar ainda mais a produção de energia e os padrões de consumo no Brasil.

Para que o Brasil cumprisse as obrigações assumidas no âmbito da Convenção, foi estabelecido um quadro institucional na forma de um Programa, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, com recursos financeiros aportados pelo PNUD/GEF e apoio adicional do governo norte-americano. Buscou-se, durante a elaboração do inventário, por sua abrangência e especificidade, envolver diversos setores geradores de informação e a participação de especialistas de diversos ministérios, instituições federais, estaduais, associações de classe da indústria, empresas públicas e privadas, organizações não-governamentais, universidades e centros de pesquisas.

Por sua própria origem, a metodologia do IPCC adotada pela Convenção tem, como referência, pesquisas realizadas e metodologias elaboradas por especialistas de países desenvolvidos, onde as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis representam a maior parte das emissões. Em consequência, setores importantes para os países em desenvolvimento, como a agricultura e a mudança no uso da terra e florestas, não são tratados com a profundidade necessária. Portanto, os fatores de emissão *default* ou até mesmo a própria metodologia devem ser analisados com a devida cautela, uma vez que não refletem, necessariamente, as realidades nacionais. Em muitos casos, não há pesquisa no Brasil que permita avaliar os valores apresentados ou a própria metodologia proposta. Onde existem pesquisas foram encontrados, em alguns casos, valores significativamente discrepantes. A avaliação de emissões decorrentes do uso intensivo de biomassa

no Brasil também não encontra apoio na metodologia, muito embora tais emissões, dado o caráter renovável da biomassa, não sejam contabilizadas nos totais nacionais.

A aplicação da metodologia do IPCC pelos países em desenvolvimento impõe a esses países um ajuste a um sistema para cuja elaboração pouco contribuíram. De qualquer modo, durante sua aplicação, não abdicamos do dever de exercer alguma influência, ainda que modesta, por exemplo, em relação à mudança de uso da terra e florestas. Deve-se levar em conta que o Brasil é um dos países que têm melhores e mais abrangentes sistemas de monitoramento permanente deste setor. Estudos pioneiros foram realizados em relação às emissões de gases de efeito estufa pela conversão de florestas em terras para uso agrícola, pelos reservatórios de hidrelétricas e por queimadas prescritas do cerrado. Cuidado deve ser tomado, também, ao se comparar os resultados totais de emissões por tipo de gás de efeito estufa. Diferenças metodológicas com outros inventários internacionais de emissões de gases de efeito estufa, em especial com alguns países desenvolvidos que não relatam adequadamente suas emissões, como, por exemplo, no caso de mudanças no uso da terra e florestas, impedem a simples comparação dos resultados.

No Brasil, a busca e coleta de informação não são adequadas por causa do custo de obtenção e armazenamento de dados e há pouca preocupação institucional com a organização ou fornecimento de informação, principalmente em nível local. Há, ainda, carência de legislação que obrigue as empresas a fornecer informações, em especial no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, muitas vezes, medições não se justificam para o inventário de emissões de gases de efeito estufa por si só, devido ao custo relativamente alto da medição, quando comparado a qualquer melhoria da precisão da estimativa.

Deve-se ter em conta que a elaboração de um inventário nacional é um empreendimento intensivo em recursos. Há que se estabelecer prioridades para realizar estudos e pesquisas de emissões nos setores e gases de efeito estufa principais, uma vez que a metodologia das estimativas e a qualidade dos dados podem melhorar com o tempo. Em virtude deste fato, os relatórios setoriais baseiam-se, normalmente, em trabalhos previamente feitos por diversas instituições nacionais.

Finalmente, é preciso lembrar que ao mesmo tempo que a avaliação das emissões anuais por cada um dos países é importante para o dimensionamento das emissões globais e para a compreensão da evolução futura do problema das mudanças climáticas, as emissões anuais de gases de efeito estufa não representam a responsabilidade de um país em causar o aquecimento global, visto que o aumento da temperatura é função da acumulação das emissões históricas dos países, que elevam as concentrações dos diversos gases de efeito estufa na atmosfera. Para cada diferente nível de concentração de cada gás de efeito estufa, há uma acumulação de energia na superfície da Terra ao longo dos anos. Como é mencionado na proposta brasileira apresentada durante as negociações do Protocolo de Quioto (documento FCCC/AGBM/1997/MISC.1/Add.3), a responsabilidade de um país só pode ser corretamente avaliada se forem consideradas todas as suas emissões históricas, o conseqüente acúmulo de gases na atmosfera e o aumento da temperatura média da superfície terrestre daí resultante. Portanto, os países desenvolvidos, que iniciaram suas emissões de gases de efeito estufa a partir da Revolução Industrial, têm maior responsabilidade por causar o efeito estufa atualmente e continuarão a ser os principais responsáveis pelo aquecimento global por mais um século.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta as estimativas das emissões de gases de efeito estufa induzidas pelo homem provenientes da queima de biomassa no cerrado não-antrópico brasileiro para o ano de 1999, com base nas Diretrizes Revisadas de 1996 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC.

O presente relatório foi elaborado conforme contrato firmado entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD – a agência implementadora do Fundo Global para o Meio Ambiente – e a Nature Sensoriamento Remoto, no âmbito do Projeto BRA/95/G31.

Este estudo foi solicitado e revisado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia por meio da Coordenação-Geral de Mudanças Globais – a agência executora do Projeto – e elaborado pelo corpo técnico da Nature Sensoriamento Remoto, localizada em São José dos Campos - SP.

Como o cerrado brasileiro cobre uma área de aproximadamente $2,0 \times 10^6$ km², uma estratégia de amostragem estatística foi necessária para estimar a área queimada do cerrado não-antrópico. Cenas TM-Landsat do período de junho/julho de 1999 foram selecionadas como amostras. Essas amostras foram selecionadas de acordo com uma estrutura de estratificação por área e grau de intervenção humana. A área queimada em junho/julho (apenas para o cerrado não-antrópico), obtidas através das imagens amostradas, foi estimada em 12.522 km². Extrapolando esses resultados para o cerrado inteiro, obteve-se o valor de 25.787 km², com um desvio padrão de 5.678 km², para o período de junho/julho de 1999.

A fim de extrapolar os resultados para a estação inteira de queimadas (junho-novembro) em todo o cerrado brasileiro, dados do AVHRR foram utilizados. Esses dados, referentes ao ano de 1999, indicaram que cerca de 15% dos focos de calor detectados no cerrado não-antrópico brasileiro ocorreram no período de junho-julho. Assumindo-se que existe uma correlação entre a área queimada observada nos dados do AVHRR e os dados do TM/Landsat e aplicando-se um fator de correção para as datas, a área total queimada no cerrado foi estimada em 197.602 km². Discriminando-se por tipo de vegetação, os resultados são os seguintes: 16.401 km² em campo limpo/sujo (8,3%); 20.748 km² no cerradão (10,5%); 131.206 km² no cerrado *sensu stricto* (66,4%); 29.245 km² no parque de cerrado (14,8%).

A densidade da biomassa (combustível fino) do cerrado brasileiro foi estimada em uma

faixa de 7,2 t/ha (fisionomia de campos) a 9,4 t/ha (cerrado *sensu stricto*).

Utilizando-se as estimativas de área e de densidade de biomassa, as emissões totais de gases de efeito estufa da queima de biomassa no cerrado não-antrópico brasileiro, para o ano de 1999, foram estimadas em: 306 Gg de CH₄, 8.036 Gg de CO, 3,8 Gg de N₂O e 137,3 Gg de NO_x.

1 Introdução

Um dos componentes da Comunicação Nacional a ser apresentada à Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima refere-se à estimativa das emissões de gases de efeito estufa, induzidas diretamente pelo homem, em decorrência da queima de biomassa.

O relatório especial do IPCC (2000) observa que a queima de biomassa transfere para a atmosfera uma grande proporção (até 90%) do carbono acima da superfície, na forma de CO₂, CO, CH₄, N₂O, NO_x e particulados. A proporção desses gases depende do tipo de material queimado e das condições da queima. As queimadas também provocam um aumento da temperatura do solo, com o conseqüente aumento dos fluxos de CO₂ no solo. Há, portanto, uma perda de carbono desses ecossistemas para a atmosfera em um curto período de tempo. No Brasil, a queima de biomassa no cerrado é seguida por uma rápida recuperação da condição anterior à queimada.

O relatório do IPCC também menciona que as áreas produtivas de savana na Austrália funcionam como fontes líquidas de gases de efeito estufa pela queima direta de biomassa. Moore *et al.* (1997) estimaram que essas emissões variaram de 0,06 a 0,2 tonelada de equivalente de CO₂, por hectare, ao ano.

A fim de estimar as emissões de gases de efeito estufa, induzidas pelo homem, em decorrência da queima de biomassa é necessário, primeiramente, estimar a área queimada, identificar o tipo de fisionomia vegetal afetado pelo incêndio e, finalmente, estimar as emissões associadas com os diferentes tipos de fisionomias. Obviamente, também é importante saber a eficiência da gaseificação, que indica quão completo é o processo de combustão (CARVALHO JR. *et al.*, 1995).

Os incêndios podem ser detectados operacionalmente com o uso de dados de sensoriamento remoto. O Brasil foi o primeiro país do mundo a implementar um sistema operacional para a detecção de incêndios, com base nas imagens do sensor *Advanced High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo do satélite em órbita polar *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA). Entretanto, pouquíssimos avanços foram feitos para que se pudesse estimar, de forma confiável, a área queimada.

Essa limitação não é particular do Brasil, mas uma preocupação internacional, como por exemplo, o *Global Observation Forest Cover* (Projeto GOFCC, coordenado pelo Comitê de Satélites de Observação da Terra), de implementação global.

Tradicionalmente, os satélites de baixa resolução, como o AVHRR e o *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP), têm demonstrado o seu potencial para monitorar padrões espaço-temporais diários da atividade de incêndio. Arino *et al.* (1999) enfatizam que, embora o monitoramento dos incêndios ativos dos focos de calor (pixels associados com temperaturas mais altas na superfície) seja altamente avançado, a capacidade de mapear de forma acurada as cicatrizes da queima, em tempo real, apenas recentemente vem sendo demonstrada.

O AVHRR apenas detecta incêndios ativos no momento da passagem do satélite. Considerando que o satélite NOAA coleta dados duas vezes ao dia e que o maior número de incêndios ocorre no meio da tarde, deve-se observar uma subamostragem do número total de incêndios no país.

Apesar desses fatos, o AVHRR ainda é a principal fonte de dados utilizada para detectar incêndios no plano regional e para mapear as áreas queimadas, em razão do fato de que dispõe de uma faixa termal sensível às temperaturas da superfície. Contudo, como foi concebido para aplicações meteorológicas, ele apresenta várias limitações para aplicações relacionadas com a queima de biomassa (bandas espectrais inadequadas, banda infravermelha média facilmente saturada, etc.).

Outras opções para monitorar as áreas queimadas envolvem o uso de sensores ópticos ou de microondas (radar) de alta resolução. Alguns sistemas de sensores, contudo, embora relevantes para monitorar incêndios nas regiões não-tropicais, ainda não se mostraram úteis para as regiões tropicais (BOURGEAU-CHAVEZ *et al.*, 1997). Durante o incêndio florestal que ocorreu em Roraima, no início de 1998, os dados de um sensor de microondas a bordo do satélite canadense RADARSAT não ajudaram a discriminar as áreas florestais afetadas pelo fogo das outras efetivamente queimadas (SHIMABUKURO *et al.*, 1999). Outros tipos de sistemas, como por exemplo o TM-Landsat, devido ao seu grande intervalo espectral e, em particular, ao fato de que ele fornece dados na região infravermelha média, são particularmente apropriados para esse tipo de aplicação (ARINO *et al.*, 1999). A limitação está na pequena cobertura espacial dos sistemas de alta resolução (aproximadamente 180 por 180 km para o TM-Landsat), ocasionando uma baixa frequência de revisita, em particular, próximo ao Equador.

O Landsat tem um ciclo de revisita de 16 dias, enquanto o satélite francês SPOT, que tem uma cobertura espacial de 60 km por 60 km, apresenta uma periodicidade de 26 dias. Essa baixa frequência de revisita, associada com uma contaminação da imagem induzida pela presença de nuvens ou fumaça, reduz a disponibilidade de dados de alta resolução que

permitam um melhor mapeamento da área queimada.

Os dados de alta resolução são representativos apenas das queimadas que ocorrem perto da passagem do satélite; conseqüentemente, eles não são apropriados para caracterizar a totalidade da área queimada durante toda a estação de queimadas. Em geral, apenas uma fração do total da área queimada é registrada em uma cena adquirida no início da estação de queimadas, ao passo que as imagens adquiridas próximo ao final da estação podem não mais mostrar as cicatrizes da queima, que se confundem com a vegetação que não foi afetada pelo fogo. Essas limitações têm um impacto maior ou menor nas estimativas da área queimada, dependendo da intensidade da queima e do tipo de fisionomia de vegetação afetado, entre outros fatores.

A resolução espacial dos sensores de alta resolução (30 metros para o TM-Landsat, 20 metros para o SPOT) é considerada suficiente para identificar o padrão espacial das áreas queimadas. Alguns estudos na África demonstraram uma ampla faixa no tamanho médio das áreas queimadas, dependendo do ecossistema afetado pelo fogo. A análise de 40 áreas queimadas próximo a Banguiin, realizada por Moula (1996), cobrindo essencialmente áreas agrícolas e de pastagens, indicou uma variação de 0,3 a 15 hectares no tamanho das áreas queimadas, com uma média de 4,5 hectares. Dados da América do Sul indicaram resultados similares (KAUFMAN *et al.*, 1998). As resoluções espaciais do Landsat e do SPOT são adequadas para caracterizar a maior parte das áreas queimadas, condicionadas a uma cobertura regional com baixa incidência de nuvens.

Arino *et al.* (1999) indicaram que as áreas queimadas constituem melhores indicadores da queima de biomassa do que os incêndios ativos, uma vez que as áreas queimadas permanecem espectralmente distintas para um período de tempo mais longo e os incêndios ativos podem não necessariamente ocorrer durante a passagem do satélite.

O potencial dos dados de baixa resolução de mapear as áreas queimadas depende da relação entre a resolução espacial do sensor e o tamanho e o padrão espacial da área queimada. Grandes áreas são queimadas nas regiões boreais e de savanas, o que faz com que sejam úteis os dados de baixa resolução. Contudo, nas regiões agrícolas, onde as queimadas são, em geral, pequenas e fragmentadas, o uso desse tipo de dado produz estimativas menos confiáveis.

Arino *et al.* (1999) mencionam que as estimativas das áreas queimadas a partir de dados com baixa resolução espacial podem ser melhoradas se comparadas com os dados de alta resolução. Os erros de comissão e omissão podem ser estimados a partir da análise dos

dados de alta resolução (adotados como verdade terrestre). Calibrações estatísticas entre os dados de alta e baixa resolução podem ser produzidas utilizando análise de regressão. Entretanto, a validade de tais calibrações ainda precisa ser melhor conhecida, especialmente em razão da heterogeneidade dos ecossistemas afetados pelo fogo e da fragmentação da área queimada (MAYAUX e LAMBIN, 1997).

Este relatório estima as emissões induzidas pelo homem provenientes da queima de biomassa no cerrado brasileiro (Figura 1), em 1999.

2 O Cerrado Brasileiro

2.1 Generalidades

O cerrado cobre uma área de aproximadamente $2,0 \times 10^6$ km² no Brasil Central (Figura 1). Embora ocupe uma área menor do que a Amazônia brasileira (com aproximadamente $4,0 \times 10^6$ km²), o cerrado é um bioma importante, não apenas pela área que ocupa mas também pela riqueza da sua biodiversidade. Filgueiras (1991) lista 270 espécies de pastagens e Heringer *et al.* (1977) cerca de 800 espécies lenhosas como parte da vegetação do cerrado. Coutinho (1990) estima que o número de plantas vasculares pode ultrapassar 2.500. Com exceção de algumas florestas tropicais, o cerrado tem uma das vegetações mais ricas em termos de espécies, com cerca de 450 espécies vasculares por hectare (EITEN, 1994).

Figura 1 – Distribuição geográfica do cerrado



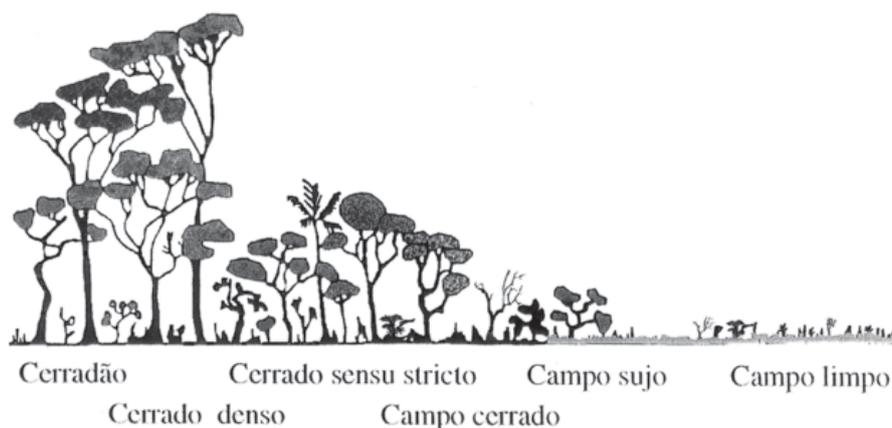
Fonte: RIBEIRO e WALTER, 1998.

O cerrado é caracterizado por uma fina cobertura de gramíneas, pequenas palmeiras e pequenas árvores estruturadas de aparência retorcida. A botânica apresenta, aproximadamente, 26 formas fisionômicas para a vegetação do cerrado (EITEN, 1983). Contudo, ele é normalmente estruturado em cinco tipos principais: cerradão, cerrado *sensu stricto* (ou simplesmente cerrado), cerrado raso ou campo cerrado, campo sujo e campo limpo (GOODLAND, 1971). Uma representação das diferentes fisionomias da vegetação do cerrado é apresentada na Figura 2. De acordo com Ribeiro e Walter (1998), as definições desses diferentes tipos são as seguintes:

- **Cerradão** – é uma formação florestal com aspectos xeromórficos. Caracteriza-se pela presença de espécies que ocorrem no cerrado *sensu stricto* e também nas florestas tropicais. A copa das árvores é predominantemente contínua e a cobertura arbórea varia de 50 a 90%. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, possibilitando condições de iluminação que promovem a formação de estratos arbóreo e herbáceo diferenciados.
- **Cerrado *sensu stricto*** – caracteriza-se pela presença de árvores baixas, tortuosas e com ramificações irregulares e retorcidas. Os arbustos e subarbustos são esparsos. Apresenta um dossel descontínuo com uma vegetação predominantemente arbóreo-arbustiva, com uma cobertura arbórea de 20 a 50% e altura média de 3 a 6 metros.
- **Campo cerrado** – é um subtipo de vegetação arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea na faixa de 5 a 20% e altura média de 2 a 3 metros.
- **Campo sujo** – é uma estrutura fisionômica exclusivamente herbáceo-arbustiva, com arbustos esparsos e subarbustos que são, às vezes, formados pelos tipos menos desenvolvidos no cerrado *sensu stricto*. A vegetação lenhosa apresenta altura média de 2 metros e cobre menos que 5%.
- **Campo limpo** – é uma fisionomia predominantemente herbácea, com arbustos raros e ausência completa de árvores.

De acordo com Dias (1992), a distribuição percentual aproximada dessas fisionomias de vegetação do cerrado é a seguinte: campos (12%); cerrado (53%); e cerradão (8%). A área restante é coberta por formas fisionômicas menos representativas, tais como, campo úmido, campo rupestre, veredas, matas ciliares e mata de galeria, entre outras.

Figura 2 – Representação pictórica das fisionomias de vegetação mais comuns no



A maior parte do cerrado está localizada na região tropical, com uma temperatura média mensal superior a 18° C. A precipitação varia de 600 a 2.200 mm, com cerca de 90% ocorrendo no período de outubro a abril (estação chuvosa). Durante a estação das chuvas, há uma grande produção de biomassa, especialmente grama. Na estação seca, a maior parte da vegetação gramínea está inativa e a maior parte da sua biomassa aérea morre e seca (KLINK e SOLBRIG, 1996), favorecendo a ocorrência de incêndios. As queimadas naturais ou induzidas pelo homem têm sido comuns no cerrado há milhões de anos. Vicentini (1993), ao estudar o paleoclima e a paleovegetação em sedimentos de uma vereda localizada em Cromínia (GO), encontrou partículas de carvão, datadas de 13.700 anos, em sedimentos de um lago. Fragmentos de carvão datados de 8.600 anos foram encontrados por Coutinho (1981) a 2 metros de profundidade, no solo de uma área coberta por vegetação de campo cerrado em Pirassununga (SP).

Embora Guidon e Delibrias (1986) datem de 32.000 anos a presença do homem no Brasil, não é possível associar a ocorrência de queimadas no cerrado apenas à atividade humana, uma vez que, de acordo com Prous (1992), a evidência mais remota da presença do homem no cerrado data de 11.000 anos. Há poucos estudos relacionando o uso do fogo pelos índios que habitavam a região. Contudo, é do conhecimento comum que o fogo é usado pelos índios como uma prática de caça e guerras tribais, para o gerenciamento de pestes e para estimular a produção de frutas de espécies nativas (MISTRY, 1998; COUTINHO, 1990). Os estudos que relacionam a ocorrência de incêndios aos relâmpagos são muito raros. Ramos Neto (2000) relatou a ocorrência de 45 incêndios florestais por causa de relâmpagos, no período de 4 anos, no Parque Nacional das Emas (GO). Atualmente, a principal causa de queimadas no cerrado está associada a práticas agrícolas ou de pastagens; ou seja, o corte raso de áreas extensas para promover o crescimento de culturas, especialmente a soja

(ALHO e MARTINS, 1995) e para o gerenciamento de pastagens naturais ou plantadas (COUTINHO, 1990).

A recorrência das queimadas no cerrado depende da forma fisionômica e do tipo de manejo praticado na área. Eiten (1972) estima em 2 anos o espaço entre as queimadas induzidas pelo homem no cerrado, ao passo que Coutinho (1990) sugere um período de 3 anos para as queimadas que são realizadas para o manejo das áreas de pastagens. Contudo, o autor sugere que esse intervalo está sendo reduzido para 2 anos ou mesmo 1 ano, como resultado da rápida ocupação da região do cerrado. Finalmente, Pivello e Coutinho (1992) estimam em 3 anos o intervalo entre as queimadas, levando em conta o tempo médio para que os nutrientes retornem à área queimada.

2.2 Combustível nas queimadas do cerrado

As queimadas no cerrado são consideradas queimadas de superfície, consumindo basicamente os estratos herbáceos finos (gramíneas e folhas mortas ou vivas e ramos finos, com diâmetro inferior ou igual a 6 mm (LUKE e McARTHUR, 1978)). Dependendo da forma fisionômica considerada e do período de proteção contra o fogo, o total do combustível fino (até 2 metros de altura) varia de 0,53 kg/m² a 1,09 kg/m² (Tabelas 1, 2 e 3). Esses valores são similares aos apresentados por Kauffman *et al.* (1994) para o campo sujo (0,73 kg/m²) e para o cerrado (0,64 kg/m²); por Castro (1996) para o campo sujo (0,75 kg/m²), para o cerrado (0,86 kg/m²) e o cerrado denso (ou seja, florística e estruturalmente similar ao cerradão) (0,54 kg/m²); e por Miranda *et al.* (1996) para o campo sujo (0,64 a 0,96 kg/m²). Valores similares foram apresentados por Frost e Robertson (1987) para as savanas africanas (0,49 a 0,90 kg/m²); por Kelmann *et al.* (1987) para as savanas da América Central (0,67 a 1,38 kg/m²) e por San José e Medina (1977) para as savanas venezuelanas (1,10 kg/m²).

Tabela 1 – Consumo de combustível nas queimadas controladas em agosto, em uma área de campo sujo da Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF

Parâmetro								
Anos sem queimadas	26	18	6	4	4	2	2	2
Composição (%)								
Combustível morto	76	68	73	75	73	74	68	77
Combustível vivo	24	32	27	25	27	26	32	23
Quantidade (kg/m ²)								
Antes da queima	0,57	0,72	0,79	0,65	0,53	0,87	0,94	0,67
Após a queima	0,03	0,06	0,03	0,04	0,01	0,05	0,02	0,05
Consumo	0,54	0,66	0,76	0,61	0,52	0,83	0,92	0,62
Eficiência (%)								
	95	93	96	94	98	93	98	92

Fonte: H.S. Miranda, dados não-publicados.

Tabela 2 – Consumo de combustível nas queimadas controladas em agosto, em uma área de cerrado *sensu stricto* da Reserva Ecológica do IBGE, DF

Parâmetro							
Anos sem queimadas	18	6	4	2	2	2	
Composição (%)							
Combustível morto	62	74	65	60	69	79	
Combustível vivo	38	26	35	40	31	21	
Quantidade (kg/m ²)							
Antes da queima							
Arbórea	0,12	0,10	0,23	0,11	0,07	0,10	
Herbácea	0,88	0,69	0,65	0,98	1,01	0,72	
Total	1,00	0,79	0,88	1,09	1,08	0,82	
Após a queima							
Arbórea	0,05	0,09	0,03	0,04	0,01	0,05	
Herbácea	0,04	0,01	0,09	0,07	0,04	0,08	
Total	0,09	0,10	0,12	0,11	0,05	0,13	
Consumo	0,91	0,69	0,76	0,98	1,03	0,69	
Eficiência (%)							
	91	87	87	89	95	84	

Fonte: H.S. Miranda, dados não-publicados.

Tabela 3 – Consumo de combustível nas queimadas controladas em agosto, em uma área de cerradão da Reserva Ecológica do IBGE, DF (*H.S. Miranda, dados não-publicados*)

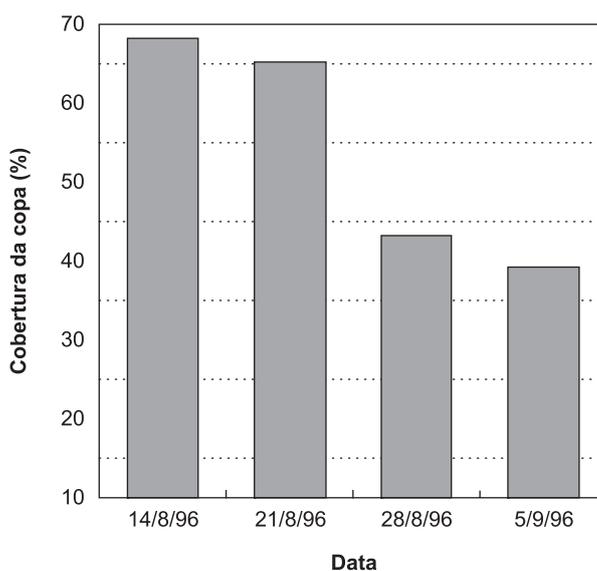
Parâmetro					
Anos sem queimadas	20	18	7	4	2
Composição (%)					
Combustível morto	76	69	72	58	71
Combustível vivo	24	31	28	42	29
Quantidade (kg/m ²)					
Antes da queima					
Arbórea	0,09	0,14	0,08	0,09	0,10
Herbácea	0,77	0,75	0,51	0,58	0,71
Total	0,86	0,89	0,69	0,67	0,81
Após a queima					
Arbórea	0,05	0,04	0,02	0,09	0,02
Herbácea	0,07	0,04	0,09	0,13	0,06
Total	0,12	0,08	0,11	0,22	0,08
Consumo	0,74	0,66	0,58	0,45	0,73
Eficiência (%)					
	86	76	84	67	90

Fonte: H.S. Miranda, dados não-publicados.

Para as áreas de campo sujo, a eficiência do consumo de combustível varia de 92% a 98% (Tabela 1). Para os tipos de fisionomias mais próximos, o combustível herbáceo tem uma eficiência de consumo (combustível consumido/combustível total) que pode variar de 77% a 99%. A eficiência de consumo do combustível mais fino dos estratos arbóreo-arbustivos varia de 10% a 86% (Tabelas 2 e 3). Em geral, 70% do combustível fino dos estratos arbóreo-arbustivos são consumidos no cerrado *sensu stricto* e cerca de 60% no cerradão. A baixa eficiência de consumo do combustível fino dos estratos arbóreo-arbustivos (entre 0,5 m e 2,0 m em altura) pode resultar do alto conteúdo de água do combustível vivo, da alta velocidade de propagação da frente de fogo (KAUFMAN *et al.*, 1994, MIRANDA *et al.*, 1996, CASTRO e KAUFMAN, 1998) e da altura das chamas durante a queimada. Apesar da complexidade de determinar a altura das chamas, Frost e Robertson (1987) estimam que a altura média varia de 0,8 m a 2,8 m para as queimadas nas savanas.

Castro Neves (*dados não-publicados*) demonstrou o baixo consumo do combustível fino dos estratos arbóreo-arbustivos, observando uma redução de apenas 4% da cobertura florestal de um cerrado denso imediatamente após a queimada. Contudo, uma redução de 42% foi observada nas duas semanas após a queimada, indicando que a redução da cobertura florestal resulta da queda das folhas danificadas pelo ar quente durante a passagem da frente de fogo e não do consumo das folhas pelo fogo (Figura 3).

Figura 3 – Redução da cobertura de copa das árvores de um cerrado denso após uma queimada prescrita (21 de agosto de 1996) na Reserva Ecológica do IBGE, Brasília, DF



3 Objetivos

Este relatório tem como objetivo:

- Fornecer estimativas da área total queimada no cerrado não-antrópico, discriminada por fisionomia vegetal (campo limpo/campo sujo; cerrado *sensu stricto*; cerradão; e parque de cerrado), em 1999; e
- Fornecer estimativas das emissões dos gases de efeito estufa decorrentes da queima de biomassa no cerrado não-antrópico, para as fisionomias vegetais discriminadas no item acima, com base nas estimativas da área total queimada.

4 Metodologia

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada para gerar as estimativas de emissões por queima de biomassa no cerrado brasileiro.

4.1 Metodologia utilizada para estimar as emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa

Os seguintes passos foram seguidos a fim de gerar as estimativas das emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de biomassa no cerrado não-antrópico brasileiro, em 1999:

- Amostragem de um conjunto de cenas TM-Landsat cobrindo o bioma cerrado;
- Interpretação visual das imagens selecionadas;
- Georeferenciamento dos polígonos que circunscrevem as áreas queimadas e importação dos mapas de vegetação;
- Cruzamento das áreas queimadas com os mapas de vegetação;
- Estimativa do total da área queimada no cerrado e por fisionomia; e
- Aplicação da metodologia do IPCC para estimar as emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no cerrado.

Cada um desses passos é detalhado nas seções a seguir.

4.1.1 Seleção de uma amostra de cenas TM-Landsat que incluem a vegetação do cerrado

Uma amostra de imagens (n=42) foi selecionada de uma lista fornecida pela FUNCATE de 130 imagens, discriminadas por área ocupada pelo cerrado e por grau de atividade humana.

4.1.1.1 O conjunto de imagens da FUNCATE

Um estudo anterior realizado pela FUNCATE (Fundação para a Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais), identificou as imagens TM-Landsat do território brasileiro que cobriam o bioma cerrado. Essas imagens, em um total de 103, foram classificadas de acordo com a área ocupada pelo cerrado e com o grau de atividade humana nesse bioma.

A FUNCATE forneceu uma lista de imagens do cerrado, incluindo a classificação de acordo com a área e o grau de intervenção humana. Três classes de área foram definidas: (1) $\leq 10.000 \text{ km}^2$; (2) entre 10.000 e 20.000 km^2 ; e (3) $\geq 20.000 \text{ km}^2$; e quatro classes associadas com o grau de intervenção humana: (1) menos de 25% (indicando um grau de preservação superior a 75%); (2) entre 25 e 50% [25-50]; (3) entre 50 e 75% [50-75]; e (4) superior ou igual a 75% [75-100].

Das 103 imagens que cobrem o cerrado, 48 (47%) corresponderam a áreas menores ou iguais a 10.000 km^2 ; 22 (21%) a áreas variando de 10.000 a 20.000 km^2 ; e 33 (32%) a áreas superiores ou iguais a 20.000 km^2 . Com relação ao grau de intervenção humana, 8 (8%) das 103 imagens estavam associadas com baixa intervenção humana (menos que 25%; classe 1); 16 (15%) apresentaram grau de intervenção humana de 25 a 50% - classe 2; 12 (12%) entre 50 e 75% - classe 3; e 67 (65%) superior ou igual a 75% (classe 4).

Para os fins deste relatório, 42 cenas TM-Landsat foram selecionadas, correspondendo a aproximadamente 41% das imagens do cerrado, conforme identificado pela FUNCATE. As imagens foram selecionadas de acordo com o esquema de estratificação por área e grau de intervenção humana, usando as imagens disponíveis para o Projeto PRODES do INPE. Essa é uma das limitações deste estudo, que não obteve amostras de toda a população composta por 103 imagens, mas de um subconjunto da população que consistia das imagens já disponíveis para o PRODES.

A Tabela 4 apresenta a distribuição das imagens TM-Landsat de acordo com a área ocupada pelo cerrado e o grau de intervenção humana. Os valores em cada célula da tabela indicam o número de cenas associadas com a classe e, em colchetes, o número de cenas amostradas.

Área (km^2)	Grau de intervenção humana (%)				Total
	< 25	[25 – 50]	[50 – 75]	≥ 75	
≥ 20.000	00 [00]	06 [03]	05 [02]	22 [10]	33 [15]
($10.000 - 20.000$)	01 [00]	03 [00]	01 [01]	17 [10]	22 [11]
≤ 10.000	07 [01]	07 [02]	06 [02]	28 [11]	48 [16]
Total	08 [01]	16 [05]	12 [05]	67 [31]	103 [42]

A distribuição da área nas 42 cenas selecionadas foi a seguinte: 16 (38%) continham área menor ou igual a 10.000 km^2 ; 11 (26%) apresentaram áreas na faixa de 10.000 a 20.000 km^2 ; e 15 (36%) apresentaram áreas maiores ou iguais a 20.000 km^2 . Com relação ao grau

de intervenção humana, 1 (2%) correspondeu à classe 1; 5 (12%) à classe 2; 5 (12%) à classe 3; e 31 (65%) à classe 4.

Originalmente, o objetivo deste estudo era estimar a área total queimada em cada uma das cenas selecionadas, usando, pelo menos, duas imagens adquiridas em datas diferentes: uma próximo ao início da estação de queimadas (julho/agosto) e outra próximo ao final (outubro/novembro). Contudo, devido à intensa cobertura de nuvens (especialmente a partir de outubro), a maior parte das imagens amostradas (57%) não pôde ser observada em uma única data. Assim, para assegurar a consistência da metodologia adotada para estimar a área queimada, apenas as imagens adquiridas em junho/julho (totalizando 42) foram consideradas neste estudo. Krug *et al.* (2001) apresentam estimativas do uso de todas as imagens disponíveis (independentemente da data de aquisição).

A Tabela 5 identifica, para cada cena amostrada, a área original do cerrado, a(s) data(s) de aquisição e os diferentes tipos de ecossistemas presentes em cada cena (agricultura/pastagem ou floresta). Vale observar que a tabela lista, para cada imagem, as datas disponíveis, embora, como observado acima, apenas as cenas adquiridas em junho/julho tenham sido usadas nesta análise.

Tabela 5 – Amostras das cenas Landsat originais, área original de cerrado, data de aquisição e tipo(s) de ecossistema(s) presente(s) (C = cerrado; AG = agricultura/pastagens; F = floresta)

Órb./Ponto	Área(km ²)	Data de Aquisição	Classes	Órb./Ponto	Área(km ²)	Data de Aquisição	Classes
229/69	16.603,90	<i>31/07/99</i> <i>19/10/99</i>	AG, C	230/69	1.088,78	<i>06/07/99</i> <i>11/11/99</i>	AG, C
229/71	6.835,13	<i>15/07/99</i> <i>19/10/99</i>	AG, C	230/68	1.953,51	<i>22/07/99</i> <i>10/10/99</i>	AG, F, C
221/67	10.086,04	<i>23/07/99</i> <i>12/11/99</i>	AG, C	226/70	18.305,91	<i>26/07/99</i> <i>15/11/99</i>	AG, C
227/69	4.338,95	<i>17/07/99</i> <i>05/10/99</i>	AG, C	226/72	4.336,13	<i>26/07/99</i> <i>15/11/99</i>	AG, C
220/68	22.765,16	<i>16/07/99</i> <i>05/11/99</i>	AG, C	224/75	21.784,30	<i>28/07/99</i> <i>17/11/99</i>	AG, C
220/67	22.549,80	<i>16/07/99</i> <i>05/11/99</i>	AG, C	225/70	19.618,01	<i>19/07/99</i> <i>23/10/99</i>	AG, C
224/73	22.519,67	<i>28/07/99</i> <i>17/11/99</i>	AG, C	222/67	24.421,85	<i>30/07/99</i> <i>02/10/99</i>	AG, C
219/71	24.092,44	<i>25/07/99</i> <i>13/10/99</i>	AG, C	229/70	2.748,78	<i>31/07/99</i> <i>19/10/99</i>	AG, F, C
224/74	25.772,53	<i>28/07/99</i> <i>17/11/99</i>	AG, C	227/68	1.136,68	<i>17/07/99</i> <i>05/10/99</i>	AG, C
224/70	25.769,47	<i>28/07/99</i>	AG, C	223/64	233,12	<i>05/07/99</i>	AG, C
225/69	5.915,28	<i>19/07/99</i>	AG, C	224/68	4.007,34	<i>28/07/99</i>	AG, C
224/67	1.777,11	<i>28/07/99</i>	AG, C	228/69	11.896,83	<i>24/07/99</i>	AG, C
227/70	8.931,35	<i>17/07/99</i>	AG	221/65	19.531,40	<i>07/07/99</i>	AG, C
222/64	11.090,66	<i>30/07/99</i>	AG, C	224/69	14.589,14	<i>28/07/99</i>	AG, F, C
224/72	25.087,39	<i>21/07/99</i>	AG, C	221/64	5.706,30	<i>23/07/99</i>	AG, C
222/65	12.315,29	<i>30/07/99</i>	C	222/66	21.319,29	<i>30/07/99</i>	C
228/70	13.666,10	<i>24/07/99</i>	AG, C	222/68	25.586,94	<i>30/07/99</i>	AG, C
227/66	245,25	<i>17/07/99</i>	AG, C	226/69	6.589,28	<i>26/07/99</i>	AG, F, C
224/71	26.436,2	<i>28/07/99</i>	C	221/68	20.223,40	<i>07/07/99</i>	C
222/69	26.885,69	<i>30/07/99</i>	C	221/69	21.374,17	<i>23/07/99</i>	C
223/69	17.337,30	<i>21/07/99</i>	AG, C	229/67	1.343,34	<i>31/07/99</i>	AG, F

Observação: As imagens disponíveis em duas datas são indicadas em itálico.

4.1.1.2 Correção das datas de aquisição

Algumas das imagens amostradas não cobriram os meses completos de junho ou julho (e, portanto, os dados mapeados não correspondem aos 61 dias que compõem esses dois meses). Uma forma possível de compensar isso é adotar uma projeção linear dos dados,

tomando como referência o número médio de dias observados em todas as 42 cenas e o número de dias que deveriam ter sido observados.

A análise das 42 imagens de junho/julho, listadas na Tabela 5, indica que o número médio de dias cobertos pelas cenas foi 53 (ao passo que a observação deve cobrir 61 dias). Assim, pode-se supor que as áreas mapeadas correspondem a aproximadamente 87% (53/61) do que teria sido mapeado se todas as imagens tivessem sido adquiridas em 31 de julho.

4.1.2 Interpretação visual das imagens amostradas

Para este estudo, a interpretação visual das imagens digitais foi realizada diretamente na tela, uma vez que as queimadas apresentam diversos padrões espectro-texturais, tornando menos confiável o procedimento de classificação automática (digital). A interpretação foi conduzida em uma composição das bandas TM do Landsat com cores falsas 5 (Vermelha), 4 (Verde) e 3 (Azul).

4.1.3 Georeferenciamento dos polígonos que circunscrevem as áreas queimadas e importação dos mapas de vegetação

Os polígonos mapeados como resultado da fase de interpretação visual não tinham precisão cartográfica. Portanto o georeferenciamento dos polígonos foi realizado com o uso das coordenadas geográficas da carta topográfica oficial (Fontes: IBGE ou DSG), na escala de 1:250.000 e o uso de uma equação polinomial.

Os mapas de vegetação usados neste estudo foram fornecidos pela EMBRAPA/CPAC em formato ArcInfo. Como o Sistema de Informações Geográficas (*Geographic Information System - GIS*) utilizado neste estudo foi o SPRING (INPE, 2000), uma conversão de formato foi necessária (de ArcInfo para SPRING).

Os mapas de vegetação foram disponibilizados em nove arquivos digitais, levando em consideração a distribuição geográfica do cerrado. Os seguintes arquivos foram fornecidos pela EMBRAPA/CPAC: (1) Maranhão/Piauí; (2) e (3) Goiás (dois arquivos); (4) Mato Grosso (um arquivo); (5) Minas Gerais; (6) e (7) Mato Grosso do Sul; (8) e (9) Tocantins. As classes de vegetação consideradas nos arquivos em pares (2 e 3; 6 e 7; 8 e 9) não eram consistentes entre si. Por exemplo, o arquivo GoiásD incluía uso antrópico, cerrado *sensu stricto*, campo limpo/campo sujo; cerradão; parque de cerrado; refúgio ecológico; transição floresta/cerrado, enquanto o arquivo PartGo continha apenas as classes uso antrópico e cerrado *sensu stricto*. Assim, o mapa de vegetação apresentou uma grande heterogeneidade

que criou várias dificuldades durante a fase de análise dos dados.

4.1.4 Cruzamento dos polígonos contendo as áreas queimadas com os mapas de vegetação

Obteve-se uma estimativa da distribuição das áreas queimadas por tipo de vegetação a partir dos focos de calor captados pelo sensor AVHRR do NOAA nos meses de junho e julho. As estimativas permitiram a extrapolação dos resultados com base em uma amostra de imagens de junho/julho para a estação inteira.

4.1.5 Estimativa do total da área queimada no cerrado

4.1.5.1 Estimativa da área queimada total

O esquema de amostragem adotado neste relatório para estimar o total da área queimada no cerrado foi a amostragem estratificada. Partiu-se do pressuposto de que o número total de imagens do cerrado apresentado na Tabela 5 era representativo da população de N elementos ($N=103$), divididos nos estratos L ($L=12$) (cada cédula da Tabela 4 é considerada um estrato). O estrato h -ésimo, com elementos N_h , associou o Y_h total para a variável aleatória Y (quantidade de área queimada na imagem TM-Landsat). Dentro de cada estrato, uma amostra independente de elementos n_h foi extraída (números em parênteses na Tabela 4). \hat{Y}_h denota uma estimativa não-tendenciosa de Y_h (área total queimada no estrato h) e \bar{Y}_h a área média queimada nos estratos h , ambos baseados em uma amostra de tamanho n_h tirada do estrato h . $\hat{V}(\hat{Y}_h)$ denota uma estimativa não-tendenciosa da variância de \hat{Y}_h ($V(\hat{Y}_h)$). Então:

$$\hat{Y} = \sum_{h=1}^L \hat{Y}_h$$

$$V(\hat{Y}) = \sum_{h=1}^L V(\hat{Y}_h) \cong \sum_{h=1}^L \hat{V}(\hat{Y}_h)$$

Se a amostragem sem reposição é adotada, de tamanho n_h , no estrato h (de modo que $\sum_{h=1}^L n_h = n$), uma estimativa não-enviesada do total da população é dada por:

$$\hat{Y} = \sum_{h=1}^L N_h \bar{Y}_h \quad (\text{Eq. 4.1})$$

com variância:

$$\begin{aligned}
 V(\hat{Y}) &= \sum_{h=1}^L (N_h)^2 (1 - f_h) \frac{S_h^2}{n_h} \\
 \hat{V}(\hat{Y}) &= \sum_{h=1}^L (N_h)^2 (1 - f_h) \frac{s_h^2}{n_h}
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 4.2}$$

onde:

$f_h = n_h / N_h$ é a fração amostrada nos estratos h-ésimos;

$$S_h^2 = \sum_{i=1}^{N_h} (Y_h - \mu_h)^2 / (N_h - 1) ; e$$

$$s_h^2 = \sum (Y_h - \bar{Y}_h)^2 / (n_h - 1) .$$

Para fins de esclarecimento,

N_h = número total de cenas nos estratos h.

n_h = número total de cenas amostradas nos estratos h.

μ_h = área média queimada nos estratos h (população).

\bar{Y}_h = área média queimada nas cenas amostradas nos estratos h.

s_h = desvio padrão das áreas queimadas nas cenas amostradas dos estratos h.

\hat{Y}_h = área total queimada nas cenas amostradas dos estratos h.

Y_h = estimativa da área queimada nos estratos h, com base em uma amostra de tamanho

n_h

$$\sqrt{V(\hat{Y}_h)} = \text{desvio padrão da área total queimada no cerrado.}$$

As equações 4.1 e 4.2 fornecem estimativas da área total queimada em junho/julho e sua variância, respectivamente, em relação à área inteira de cerrado (N=103). Assim, o total na equação 4.1 refere-se à área total queimada no cerrado conforme derivado da análise das imagens de julho, que também podem conter queimadas que ocorreram antes desse mês. A fim de extrapolar a estimativa do total obtido para julho (junho/julho) para toda a estação de queimadas (junho a novembro), foram utilizados os dados do sensor AVHRR, de 1995 até 1999. Esses dados forneceram uma estimativa da contribuição relativa (percentagem) do número de focos de calor detectados durante os meses de junho e julho com relação ao número total de focos de calor observados durante a estação inteira de queimadas.

4.1.5.2 Dados históricos do NOAA

Os dados usados para extrapolar a área do cerrado para a estação inteira de queimadas basearam-se nos dados do AVHRR de 1999. A fim de avaliar se os dados anuais são consistentes, realizou-se uma avaliação dos dados do AVHRR de 1996 a 1999. O INPE produz relatórios anuais que incluem o número anual de focos de calor do país, detectados pelo AVHRR durante a estação de queimadas (KRUG *et al.*, 1996, 1997, 1998, 1999). A Tabela 6 reproduz os dados extraídos desses relatórios, para os estados que contêm a maior parte do cerrado brasileiro (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, Bahia, Maranhão e Piauí).

Tabela 6 – Número de focos de calor detectados pelo NOAA-12 no início da noite, durante a estação de queimadas, de 1996 a 1999, por estado

1996							
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Total
MT	25	119	5.985	4.089	688	18	
TO	111	181	740	3.288	154	16	
GO	12	270	639	1.077	237	29	
MS	92	352	510	432	453	174	
MG	73	184	270	445	205	10	
BA	46	80	193	568	199	29	
MA	18	78	242	982	836	616	
PI	5	13	107	8	154	69	
TOTAL	382	1.277	8.686	10.889	2.926	961	25.121
%	1,52	5,80	34,57	43,35	11,65	3,83	
1997							
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Total
MT	219	1.352	7.532	6.352	2.355	594	
TO	152	154	1.050	1.946	451	72	
GO	51	105	446	1.035	565	97	
MS	13	132	238	462	728	124	
MG	33	56	390	1.152	608	205	
BA	19	31	199	750	528	166	
MA	48	68	614	2.120	3.187	788	
PI	08	10	167	709	420	91	
TOTAL	543	1.908	10.636	14.526	8.842	2.137	38.592
%	1,1	4,94	27,56	37,64	22,91	5,54	
1998							
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Total
MT	2.198	3.352	14.622	10.302	2.582	208	
TO	261	648	3.692	4.545	1.595	01	
GO	179	544	2.366	2776	1.037	54	
MS	82	297	220	400	556	293	
MG	72	229	814	1.342	827	34	
BA	55	199	684	1.649	1.414	32	
MA	80	258	1.042	2.434	4.059	2.064	
PI	48	160	589	904	1.571	229	
TOTAL	2.975	5.687	24.029	15.082	13.641	2.915	64.329
%	4,62	8,84	37,35	23,45	21,21	4,53	
1999							
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Total
MT	1.918	3.680	15.810	11.061	5.946	820	
TO	106	383	1.263	3.482	1.348	22	
GO	227	345	1.222	1.972	747	121	
MS	88	580	3.434	2.759	1.976	1.229	
MG	132	335	1.179	2.536	1.177	145	
BA	55	106	463	1.116	986	33	
MA	27	252	841	1.671	2.836	1.250	
PI	39	84	404	655	1.121	131	
TOTAL	2.592	5.765	24.616	25.252	16.137	3.751	78.113
%	3,32	7,38	31,51	32,33	20,66	4,80	

Os dados da Tabela 6 indicam que, de 1996 a 1999, o último ano foi o que apresentou o maior número de focos de calor. Assim, o cenário de emissões para esse ano poderia ser considerado o mais pessimista, caso se suponha que o número de focos de calor é indicativo da atividade de incêndios no país.

4.1.5.3 Estimativa do total da área queimada, por tipo de vegetação

Para a identificação da área queimada por fisionomia de vegetação, o passo inicial foi gerar a estimativa da área total queimada no cerrado e então usar a contribuição relativa dos focos de calor observados em cada classe ao número total de focos de calor observados durante a estação de queimadas inteira, nas classes campo limpo/sujo, cerradão, cerrado *sensu stricto* e parque de cerrado. Como a área dos polígonos queimados por classe de vegetação não pôde ser gerada, não foi possível usar o mesmo procedimento que o empregado para gerar a estimativa para o cerrado inteiro.

4.1.6 Metodologia utilizada para estimar as emissões de gases de efeito estufa

4.1.6.1 Condições para o cálculo das emissões

Antes de apresentar a metodologia adotada para estimar as emissões de gases de efeito estufa, alguns esclarecimentos são necessários:

- (i) As áreas queimadas no parque de cerrado serão acrescentadas às áreas estimadas para o cerrado *sensu stricto*; isso se justifica em razão do fato de que o parque de cerrado é uma formação de savana caracterizada pela presença de árvores com altura de 3 a 6 metros e com uma cobertura arbórea de aproximadamente 5 a 20% (RIBEIRO e WALTER, 1998) agrupadas em pequenas elevações no terreno, conhecidas como “murundus” ou “monchões”. Essa descrição é similar à utilizada para o cerrado raso (árvores com uma altura média de cerca de 2 a 3 metros e coberto arbóreo entre 5 e 20%), que é uma subdivisão fisionômica do cerrado *sensu stricto*. Além disso, os dados de combustão de combustível estão disponíveis apenas para queimadas em campo sujo, cerrado *sensu stricto* e cerradão.
- (ii) As fisionomias campo limpo e campo sujo serão mencionadas como “campos”.
- (iii) Adotar-se-á que todas as queimadas são de superfície, subentendendo-se que elas consomem preferencialmente o combustível fino dos estratos herbáceos e dos estratos arbóreos com até 2 metros de altura.

- (iv) Todo o combustível fino que não é consumido durante a queimada é formado pelo combustível vivo dos estratos herbáceo e arbóreo antes da queimada.
- (v) Para a Razão Nitrogênio-Carbono, utiliza-se o valor *default* sugerido pelo IPCC (1997) (N/C = 0,006).

4.1.6.2 Estimativa dos parâmetros

Como as áreas queimadas são estimadas por tipo de fisionomia, sem levar em consideração o período sem queimadas, os parâmetros necessários para estimar as emissões (densidade da biomassa; fração da biomassa realmente queimada; fração da biomassa viva antes da queimada, fração da biomassa viva e morta oxidada) serão derivados dos valores médios apresentados nas Tabelas 7, 8, 9, 10 e 11.

(i) **Densidade da biomassa (BD)** (média do combustível da biomassa) (coluna B da planilha de trabalho do IPCC)

$$BD = (S Q_{bb} / N) \quad (\text{Eq. 4.3})$$

onde:

- Q_{bb} é a quantidade de combustível da biomassa antes da queimada em cada amostra de queimada; e
- N é o número de amostras de queimadas considerado em cada fisionomia de cerrado.

A Tabela 7 sintetiza as estimativas da densidade da biomassa para as fisionomias campos, cerrado *sensu stricto* e cerradão.

Tabela 7 – Média da densidade dos combustíveis da biomassa (em peso seco) para diferentes fisionomias de vegetação do cerrado

Tipo de Fisionomia	Densidade da Biomassa (t/ha)
Campos	7,2
Cerrado <i>sensu stricto</i>	9,4
Cerradão	7,6

(ii) **Fração da biomassa realmente queimada (BRB)** (média da eficiência da queimada) (coluna D da planilha do IPCC)

$$BRB = [\sum C_i / Q_{bbi}] / N \quad (\text{Eq. 4.4})$$

onde:

- C_i é o consumo de combustível da biomassa em cada amostra de queimada; $i=1, \dots, N$.
- Q_{bbi} é a quantidade de combustível da biomassa antes da queimada em cada amostra de queimada; e
- N é o número de amostras de queimadas considerado em cada experimento e fisionomia do cerrado.

A Tabela 8 sintetiza as estimativas da fração da biomassa realmente queimada para as fisionomias campos, cerrado *sensu stricto* e cerradão.

Tabela 8 – Fração da biomassa realmente queimada (eficiência média) para os diferentes tipos de fisionomias de vegetação no cerrado

Tipo de Fisionomia	Fração da Biomassa Queimada
Campos	0,95
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,89
Cerradão	0,80

(iii) **Fração da biomassa viva antes da queimada (FLB)** (média) (coluna F da planilha do IPCC)

De acordo com o IPCC (1997) (Etapa 2, Item 2, referente à estimativa da proporção de biomassa viva e morta), as proporções da biomassa viva antes da queimada devem ser apresentadas na coluna F da planilha (Seção 5.2).

A Tabela 9 sintetiza as estimativas da fração da biomassa viva antes da queimada (média) para as fisionomias campos, cerrado *sensu stricto* e cerradão.

Tabela 9 – Fração da biomassa viva queimada nas diferentes fisionomias de vegetação do cerrado

Tipo de Fisionomia	Fração da Biomassa Viva antes da Queimada (média)
Campos	0,27
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,32
Cerradão	0,31

(iv) *Fração da biomassa viva oxidada (FLOB)* (média) (coluna I da planilha do IPCC)

De acordo com a suposição (iv) da subseção 4.1.6.1, todo o combustível que não é consumido durante a queimada é composto da biomassa viva antes da queimada. Assim:

$$FLOB = \sum [(Cvi_{antes} - Cvi_{depois}) / Cvi_{antes}] / N \quad (4)$$

onde:

- Cvi_{antes} é a quantidade média de combustível vivo antes da queimada em cada amostra de queimada;
- Cvi_{depois} é a quantidade média de combustível vivo após a queimada em cada amostra de queimada.
- N é o número de amostras de queimadas considerado em cada experimento e fisionomia do cerrado;

A Tabela 10 sintetiza as estimativas da fração da biomassa viva oxidada nas queimadas para as fisionomias campos, cerrado *sensu stricto* e cerradão.

Tabela 10 – Fração da biomassa viva oxidada nas queimadas das diferentes fisionomias

Tipo de Fisionomia	Fração da Biomassa Viva Oxidada
Campos	0,81
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,62
Cerradão	0,36

(v) *Fração da biomassa morta oxidada (FDOB)* (coluna J da planilha do IPCC)

De acordo com a suposição (iv) da subseção 4.1.6.1, todo o combustível morto é consumido durante a queimada.

A Tabela 11 resume as estimativas da fração da biomassa morta oxidada nas queimadas para as fisionomias campos, cerrado *sensu stricto* e cerradão.

Tabela 11 – Fração da biomassa morta oxidada nas diferentes fisionomias do cerrado

Tipo de Fisionomia	Fração da Biomassa Oxidada
Campos	1,0
Cerrado <i>sensu stricto</i>	1,0
Cerradão	1,0

5 Resultados

As estimativas das emissões resultam das estimativas da área queimada no cerrado não-antrópico, em 1999, e das estimativas das emissões por fisionomia de cerrado.

5.1 Estimativas do total da área queimada no cerrado, a partir de uma amostra de cenas TM-Lansat

A área queimada estimada em junho/julho (apenas para o cerrado não-antrópico) a partir das imagens amostradas foi de 12.522 km². Isso corresponde à soma das áreas dos polígonos que corresponderam às áreas queimadas nas imagens originais de junho/julho (as 42 cenas listadas na Tabela 5). O resumo das estatísticas é apresentado na Tabela 12.

A Tabela 12 apresenta o resumo das estatísticas por estrato, utilizadas para gerar a estimativa da área queimada para o cerrado inteiro durante junho/julho, utilizando a amostragem estratificada (Equações. 4.1 e 4.2). Os valores na tabela são gerados a partir da área queimada para cada amostra de cena.

Tabela 12 – Resumo das estatísticas para cada estrato, insumos para as equações 4.1 e 4.2, em relação à amostragem estratificada

Estrato h	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
N_h	28	17	22	6	1	5	7	3	6	7	1	0
n_h	11	10	10	2	1	2	2	0	3	1	0	0
\bar{Y}_h	189,9	511,6	200,9	101,9	847,3	517,7	216,9	---	248,6	42,1	---	---
S_{yh}	189,8	375,6	232,5	116,8	0	148,7	179,6	---	153,5	0	---	---
\hat{Y}_h	2.089,3	5.115,9	2.009,1	203,7	847,3	1.035,4	433,8	---	745,9	42,1	---	---
Y_h	5.318,3	8.697,0	4.420,0	611,1	847,3	2.588,5	1.518,3	---	1.491,8	294,8	---	---
$\sqrt{V(\hat{Y}_h)}$	1.248,4	1.295,6	1.194,4	404,7	0	407,3	751,4	---	376,1	0	---	---

A estimativa da área total queimada em junho/julho, no cerrado inteiro, com base na amostragem estratificada (equação 4.1) foi de 25.787 km² com um desvio padrão de 5.678 km² (equação 4.2).

Com o objetivo de extrapolar os resultados obtidos em junho/julho para toda a estação de queimadas (junho-novembro), foram utilizados os dados do AVHRR. Inicialmente, os dados do satélite NOAA de junho a novembro de 1999 foram cruzados com os mapas de vegetação da EMBRAPA/CPAC. Isso permitiu a identificação do número de focos de calor detectados durante a estação de queimadas, por tipo de fisionomia de vegetação no cerrado. Esses dados, limitados à área abrangida por este estudo, são apresentados na Tabela 13. Como este estudo concentra-se no cerrado não-antrópico, apenas os focos de calor nas áreas de campo limpo/sujo, cerradão, cerrado *sensu stricto* e parque de cerrado

Tabela 13 – Distribuição do número total de focos de calor detectados pelo AVHRR/NOAA, em 1999, por mês da estação de queimadas e por tipo de fisionomia do cerrado, para as áreas deste estudo

	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Total
Campo limpo/sujo	45	159	384	382	153	0	1.123
Cerradão	21	143	666	332	211	47	1.420
Cerrado <i>sensu stricto</i>	413	904	3.210	2.995	1.268	222	9.012
Parque de cerrado	81	230	875	642	178	10	2.016
Total	560	1.436	5.135	4.351	1.810	279	13.571
Uso antrópico	741	1.186	3.688	2.555	1.108	254	9.532
Outras classes*	474	628	1.586	587	409	37	3.721
Total geral	1.775	3.250	10.409	7.493	3.327	570	26.824
	Valores mensais (%)						
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Total
Campo limpo/sujo	4	14	34	34	14	0	100
Cerradão	2	10	47	23	15	3	100
Cerrado <i>sensu stricto</i>	5	10	36	33	14	2	100
Parque de cerrado	4	11	43	32	9	1	100
Total	4	11	38	32	13	2	100
Uso antrópico	8	12	39	27	12	2	100
Outras classes*	12	17	43	16	11	1	100
Total geral	7	12	39	28	12	2	100

***Outras classes** incluem: Refúgio Ecológico; Transição; Mata; Áreas Alagadas/Vereda; Áreas de Regeneração; Pioneiras; Água; Floresta.

Os dados da Tabela 13 indicam que, aproximadamente, 15% (4% + 11%) dos focos de calor detectados na área coberta pelo cerrado brasileiro não-antrópico, durante toda a estação de queimadas em 1999, concentraram-se nos meses de junho-julho (linha indicada em *itálico* na Tabela 13, como **Total**). Supondo-se que os polígonos mapeados em junho/julho ocorreram em junho/julho, a estimativa da área total queimada em 1999 no cerrado é de 171.913 km² (25.787 x (100/15)), discriminada por tipo de vegetação do seguinte modo: 8,3% no campo limpo/sujo (14.269 km²) (Tabela 12; 1.123/13.571); 10,5% no cerradão (18.051 km²); 66,4% no cerrado *sensu stricto* (114.150 km²); 14,8% no parque de cerrado (25,443 km²).

Aplicando-se a correção conforme a data da cena utilizada, a estimativa de junho/julho para a área total queimada no cerrado em 1999 é de 197.602 km² ((25.787/0,87) x (100/15)). Discriminando-se por tipo de vegetação, os resultados são: 8,3% no campo limpo/sujo (16.401 km²) (Tabela 12; 1.123/13.571); 10,5% no cerradão (20.748); 66,4% no cerrado

sensu stricto (131.206 km²); 14,8% no parque de cerrado (29.245 km²).

Uma síntese das estimativas da área queimada no cerrado não-antrópico em 1999 é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Síntese das estimativas do total da área queimada nos diferentes tipos de fisionomias de vegetação

Tipo de fisionomia vegetal	Área queimada (km ²)	Síntese do método
Campo limpo/sujo	16.401	Suposição: 8,3% (1.123/13.571, na Tabela 12) do total estimado para o cerrado (171.913 km ²) correspondem a esta classe de vegetação. A estimativa foi corrigida conforme as datas de aquisição.
Cerradão	20.748	Suposição: 10,5% da área total queimada no cerrado não-antrópico (171.913 km ²) correspondem a esta classe de vegetação. A estimativa foi corrigida conforme as datas de aquisição.
Cerrado <i>sensu stricto</i>	131.208	Suposição: 66,4% da área total queimada no cerrado não-antrópico correspondem a esta classe de vegetação. A estimativa foi corrigida conforme as datas de aquisição.
Parque de cerrado	29.245	Suposição: 14,8% da área total queimada no cerrado não-antrópico correspondem a esta classe de vegetação. A estimativa foi corrigida conforme as datas de aquisição.
Total final	197.602	Estimativa com base na suposição de que 15% dos focos de calor concentraram-se nos meses de junho e julho. A estimativa foi corrigida conforme as datas de aquisição.

Os dados da Tabela 14 estão sintetizados na Tabela 15. Os dados referem-se às estimativas da área total queimada no cerrado não-antrópico, considerando a correção para os dados de aquisição de imagem.

Tabela 15 – Área queimada nas diferentes fisionomias de vegetação do cerrado

Tipo de Fisionomia	Área Queimada (kha)
Campos	1.640,1
Cerrado <i>sensu stricto</i>	16.045,1
Cerradão	2.074,8
Total	19.760,0

5.2 Estimativas das emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no cerrado não-antrópico, de acordo com a metodologia do IPCC (1997): “Queimada Prescrita de Savanas”

PASSO 1					
Tipo de Fisionomia	A	B	C	D	E
	Área queimada (kha)	Densidade da biomassa no cerrado (t/ha)	Total da biomassa exposta ao fogo (Gg) $C = (A \times B)$	Fração da biomassa efetivamente queimada	Quantidade efetivamente queimada (Gg) $E = (C \times D)$
		1.640		11.809	
Campo limpo/sujo	16.045	7,2	150.825	0,95	11.218
Cerrado <i>sensu stricto</i>	2.075	9,4	15.769	0,89	134.235
Cerradão		7,6		0,80	12.615

PASSO 2			
Tipo de Fisionomia	F	G	H
	Fração da biomassa viva	Quantidade de biomassa viva queimada (Gg) $G = (E \times F)$	Quantidade de biomassa morta queimada (Gg) $H = (E - G)$
		0,27	
Campo limpo/sujo	0,32	3.029	91.280
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,31	42.955	8.704
Cerradão		3.911	

PASSO 3				
Tipo de Fisionomia	I	J	K	L
	Fração da biomassa viva oxidada	Fração da biomassa morta oxidada	Total de biomassa viva oxidada (Gg) $K = (G \times I)$	Total de biomassa morta oxidada (Gg) $L = (H \times J)$
		0,81		2.453
Campo limpo/sujo	0,62	1,0	26.632	92.621
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,36	1,0	1.408	8.783
Cerradão		1,0		

PASSO 4					
Tipo de Fisionomia	M	N	O	P	Q
	Fração de carbono na biomassa viva	Fração de carbono na biomassa morta	Total de carbono emitido da biomassa viva (Gg C)	Total de carbono emitido da biomassa morta (Gg C) $P = (L \times N)$	Total de carbono emitido da biomassa (viva + morta) (Gg C) $Q = (O + P)$
			$O = (K \times M)$	3.197	
Campo limpo/sujo	0,45	0,4	1.104	37.048	4.301
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,45	0,4	11.984	3.513	49.033
Cerradão	0,45	0,4	634	43.758	4.147
TOTAL			13.722		57.480

PASSO 5				
R	S	T	U	V
Elemento	Total de emissão por elemento (Gg C ou Gg N)	Compostos dos elementos resultantes da emissão	Razão da emissão do composto relativo ao elemento	Emissão total do composto em unidades do elemento (Gg C ou Gg N) $V = (S \times U)$
C	57.480	CH ₄	0,06	229,92
		CO	0,007	3.448,82
N	344,88	N ₂ O	0,121	2,41
		NO _x		41,73

PASSO 6	
X	Y
Razão do peso molecular dos compostos/ elementos	Emissão total na forma de composto (Gg) $Y = (V \times X)$
1,33	306
2,33	8.036
1,57	3,8
3,29	137,3

6 Comentários Finais

Este estudo é o refinamento de um trabalho muito maior realizado por Krug *et al.* (2001) que visava estimar a área total queimada no cerrado não-antrópico, utilizando dados orbitais. Nesse estudo, diferentes métodos foram aplicados para gerar as estimativas de área: (i) uso de todas as amostras de imagens do Landsat; (ii) uso apenas de imagens dos meses de junho e julho; e (iii) uso de dados das imagens adquiridas em duas datas distintas. Na seção intitulada “Análise dos Resultados e Comentários Gerais”, há uma recomendação para que se use as estimativas de área geradas pelo método com base nas imagens de junho/julho para estimar as emissões de gases de efeito estufa da queima de biomassa no cerrado. O relatório também menciona que o método baseia-se em algumas suposições, a mais limitante dentre elas é que as imagens de julho capturam as queimadas que ocorreram durante o mês de junho, ou seja, supõe-se que as cicatrizes das queimas que ocorreram em junho ainda são visíveis nas imagens de julho. Adicionalmente, mas menos limitante, algumas das queimadas que podem ter ocorrido em maio poderiam ainda estar visíveis nas imagens de julho. Contudo, as queimadas em maio não são comuns e não devem ter um reflexo significativo nas estimativas finais.

Há muito pouca informação na literatura acerca das cicatrizes das queimas e sua permanência média em uma imagem Landsat. O presente estudo identificou essa falta de conhecimentos e suscitou o início de uma dissertação no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Os resultados devem estar disponíveis até junho de 2002.

O relatório original de Krug *et al.* (2001) contém um estudo preliminar sobre a recorrência anual das queimadas, analisando os dados anuais de três imagens Landsat durante um período de 5 anos (1995-1999). A dissertação sendo finalizada no INPE tratará de ambas as recorrências intra-anuais e interanuais de incêndios. O relatório também apresentou a distribuição das classes por tamanho das áreas queimadas, envolvendo todos os polígonos mapeados com o uso de todas as imagens Landsat disponíveis.

Os mapas de vegetação atualizados para este relatório também apresentaram limitações que precisam ser corrigidas: os arquivos não eram consistentes (as classes de vegetação variavam de estado a estado) e não cobriam todas as áreas em que a vegetação do cerrado pode ser encontrada.

A contribuição mais relevante deste estudo apóia-se na identificação das limitações para gerar as estimativas de área, explorando vários métodos diferentes. As estimativas foram geradas apenas para o ano de 1999, utilizando dados e imagens que já estavam disponíveis

na FUNCATE/INPE para o projeto de desflorestamento (PRODES). Tornou-se bem clara a dificuldade de ter, para cada órbita/ponto, conjuntos completos de imagens para cobrir a estação de queimadas inteira. Isso apresenta uma séria desvantagem para produzir estimativas melhores da área queimada em um dado ano, independentemente da quantidade de dinheiro que seja investida a esse respeito.

Os dados da Tabela 6 indicam que, de 1996 a 1999, o último ano foi o que apresentou o maior número de focos de calor. Portanto, o cenário de emissões para esse ano poderia ser considerado o mais pessimista, caso se suponha que o número de focos de calor possa ser indicativo da atividade de incêndios no país. Os resultados deste estudo permitem ao Brasil ter, pelo menos, uma percepção da contribuição da queima de biomassa ao cenário geral das emissões de gases de efeito estufa no país.

7 Referências Bibliográficas

- Alho, C.J.R.; Martins, E.S., 1995. *De Grão em Grão, o Cerrado Perde Espaço. Documento para discussão.* WWF/PROCER, Brasília.
- Arino, O.; Piccolini, I.; Siegert, F.; Eva, H.; Chuvieco, E.; Martin, P.; Fraser, R.H.; Roy, D.; Pereira, J., 1999. *Burn Scars Mapping Methods.* GOFCC Forest Fire Monitoring and Mapping Workshop. Ispra, 3-5 November, 1999.
- Bourgeau-Chavez, L.L.; Harrel, P.A.; Kasischke, E.S.; French, N.H.F., 1997. The detection and mapping of Alaskan wildfires using a spaceborne imaging radar system. *International Journal of Remote Sensing* 18, 355-373.
- Carvalho Jr., J.A.; Santos, J.M.; Santos, J.C.; Leitão, M.M., 1995. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. *Atmospheric Environment* 29(17):2301-2309.
- Castro, E.A., 1996. *Biomass, Nutrient Pools and response to Fire in the Brazilian Cerrado.* M. Sc. Thesis. Oregon State University. USA.
- Castro, E.A.; Kauffman, J.B., 1998 Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root biomass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14:263-283.
- Coutinho, L.M., 1981. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado - Nota sobre a ocorrência e datação de carvões encontrados no interior de solo sob Cerrado. *Revista Brasileira de Botânica.* 4:115-117.
- Coutinho, L.M., 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: *Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges.* J. G. Goldammer (ed.). Ecological Studies Vol. 8A. Springer Verlag, Berlin.
- Dias, B. F. S., 1992. Cerrado: uma caracterização. In: *Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis.* B. F. S. Dias (ed.). FUNATURA/IBAMA, Brasília, pp.15 - 26.
- Eiten, G., 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38:201-341.
- _____, 1983. *Classificação da Vegetação do Brasil.* CNPq, Brasília. pp. 305.
- _____, 1994. Vegetação do Cerrado. In: *Cerrado.* M. N. Pinto (ed.). SEMATEC, Brasília. pp. 17-76.
- Filgueiras, T.S., 1991. A floristic analysis of the Gramineae of Brazil's Distrito Federal and a list of the species occurring in the area. *Edinburgh Journal of Botany* 48:1-8.

- Frost, P.G.; Robertson, F., 1987. The ecological effects of fire in savannas. In: *Determinants of Tropical Savannas*. B. H. Walker (ed.). IRL Press Limited, Oxford.
- Goodland, R., 1971. A physiognomic analysis of the cerrado vegetation of Central Brazil. *Journal of Ecology* 59:411-419.
- Guidon, N.; Delibrais, G., 1986. Carbon-14 dates point to man in the Americas 32000 years ago. *Nature* 321:769-771.
- Heringer, E.P.; Barroso G.M.; Rizzo, J.A.; Rizzini, C.T., 1977. A flora do Cerrado. In: *IV Simpósio sobre o Cerrado*. Editora USP. pp. 211-232.
- IPCC, 1995. *Greenhouse gas inventory reporting instructions. Intergovernmental Panel on Climate Change. Volume I, 1995.*
- _____, 2000. *Land Use, Land-Use Change, and Forestry. A special report of the IPCC*, Watson, R.T.; Noble, I.R.; Bolin, B.; Ravindranath, N.H.; Verardo, D.J.; Dokken, D.J. (eds). Cambridge University Press. 377 pg.
- IPCC, OECD, IEA, 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*. Bracknell, UK
- Kaufman, Y.J.; Kleidman, R.G.; King, M.D., 1998. SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-DIS. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 103:(D24)31955-31968.
- Kauffman, J.B.; Cummings, D.L.; Ward, D.E., 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in Brazilian cerrado. *Journal of Ecology* 82:519-531.
- Kelmann, M.; Miyanishi, K.; Hiebert, P., 1987. Nutrient retention by savanna ecosystem. *Journal of Ecology* 73:953-962.
- Klink, C.A.; Solbrig, O.T., 1996. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do Cerrado. In: *Biodiversidad y Funcionamiento de Pastizales y Sabanas en América Latina*. G. Sarmiento & M. Cabido (eds.). CYTED y CIELAT, Venezuela. p.231-244.
- Krug, T.; Oliveira, G.S.;Valenzuela, G. del C.L.; Setzer, A.W. Incidência de queimadas no período de junho a novembro de 1995 e 1996 detectada pelo sensor AVHRR do satélite NOAA. São José dos Campos, INPE.
- Krug, T.; Setzer, A.W.; Oliveira, G.S.; Camargo Júnior, H.; Valenzuela, G. del C.L., 1999. Incidência de focos de calor detectados pelo sensor AVHRR dos satélites NOAA no período de junho a novembro de 1997. São José dos Campos, INPE. (INPE-7173-PRP/218).
- Krug, T.; Setzer, A.W.; Oliveira, G.S.; Camargo Júnior, H.; Valenzuela, G. del C.L., 1999. Incidência de

- focos de calor detectados pelo sensor AVHRR dos satélites NOAA no período de junho a novembro de 1998. São José dos Campos, INPE. (INPE-7173-PRP/219).
- Krug, T.; Setzer, A.W.; Oliveira, G.S.; Camargo Júnior, H.; Valenzuela, G. del C.L., 2000. Incidência de focos de calor detectados pelo sensor AVHRR dos satélites NOAA no período de junho a novembro de 1999. São José dos Campos, INPE, 2000. (em preparação).
- Krug, T.; dos Santos, J.R.; Miranda, H., 2001. Estimativa da área queimada no cerrado brasileiro não-anthropizado em 1999, a partir de dados orbitais. Relatório entregue à Coordenação Geral de Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência e Tecnologia.
- Luke, R.H.; McArthur, A.G., 1978. *Bushfire in Australia*. Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Mayaux, P., Lambin, E., 1997. Tropical forest area measured from global land-cover classifications: inverse calibration models based on spatial textures. *Remote Sensing of Environment*, 57:29-43.
- Miranda, H.S.; Rocha e Silva, E.P.; Miranda, A.C., 1996. *Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo*.
- Moore, J.L.; Howden, S.M.; McKeon, G.M.; Carter, J.O.; Scanlin, J.C., 1997. A method to evaluate greenhouse gas emissions from sheep grazed rangelands in south west Queensland. In: *Modsim '97 International Congress on Modelling and Simulation Proceedings*, 8-11 dezembro, University of tasmaniam Hobart [McDonald, D.A. e McAleer, N, (edit.). Modeling and Siulation Society of Australia, Canberra, Australia, pp. 137-142.
- Moula, M.; Brustet, J.-M., Eva, H.D.; Lacaux, J.-P., Grégoire, J.-M., Fontan, J. 1996. Contribution of spread-fire model in the study of savannah fires. In: *Biomass Burning and Global Change*, Ed. J.S. Levine, MIT Press, Cambridge MA, 220-277.
- Miranda, H.S.; Rocha e Silva, E.P.; Miranda, A.C., 1996. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. H. S. Miranda; C. H. Saito & B. F. S. Dias (orgs.). ECL/UnB, Brasília. p.1-10.
- Mistry, J., 1998. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography* 22:425-448.
- Pivello, V.R.; Coutinho, L.M., 1992. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an opem cerrado (Brazilian savanna). *J. Tropical Ecology* 8:487-497.
- Prous, A., 1992. *Arqueologia Brasileira*. Universidade de Brasília, Brasília. 605p.
- Ramos Neto, M.B., 2000. *O Parque Nacional das Emas (GO) e o Fogo: Implicações para a Conservação*.

Tese de Doutorado, USP, São Paulo.

Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T., 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: *Cerrado: ambiente e flora*. S. M. Sano & S. P. de Almeida (eds.). EMBRAPA-CPAC. Planaltina. p.89-168.

San José, J.J.; Medina, E., 1977. Producción de matéria orgânica en la sabana de Trachypogon, Calabozo, Venezuela. *Bol. Soc. Venez. Cienc. Nat.* 134:75-100.

Shimabukuro, Y.E.; Santos, J.R. dos; Novo, E.M.L.M.; Krug, T.; Hess, L., 1999. Estimativa da área de cobertura florestal afetada pelo incêndio em Roraima, utilizando dados multi-sensores. São José dos Campos: INPE. (INPE-7119-RPQ/697).

Vicentini, K.R.C.F., 1993. *Análise Palinológica de uma Vereda em Cromínia-GO*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.

8 Agradecimentos

O presente estudo recebeu o apoio financeiro da Coordenação Geral de Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia, por meio de financiamento do PNUD. A Nature Sensoriamento Remoto agradece à FUNCATE por ter disponibilizado as imagens Landsat do Projeto PRODES, bem como informações gerais sobre o cerrado; ao IBAMA por fornecer os mapas de vegetação; à Dra. Heloísa Miranda e sua equipe na Universidade de Brasília por produzirem as estimativas de emissões; e ao INPE por fornecer dados do satélite NOAA. Finalmente, os nossos agradecimentos pessoais à Dra. Thelma Krug, responsável pelo desenvolvimento da metodologia e pela análise dos dados para estimar a área queimada, e ao Dr. João Roberto dos Santos, que assegurou a qualidade da interpretação das imagens Landsat no decorrer de todo o projeto.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Expressamos nossa mais profunda gratidão ao Prof. José Israel Vargas, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de 1992 a 1999, por compartilhar conosco seus conhecimentos e suas idéias sobre as questões da mudança do clima e por sua incessante orientação e incentivo. Estendemos nosso agradecimento ao Prof. Luiz Carlos Bresser Pereira, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia de janeiro a julho de 1999 e ao Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de agosto de 1999 a 2002. Agradecemos, ainda, ao Dr. Roberto Amaral, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de janeiro de 2003 a janeiro de 2004 e ao Dr. Eduardo Campos, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de janeiro de 2004 a julho de 2005.

capa
Chivas Produções

projeto gráfico
Jorge Ribeiro