

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa resultantes da queima de biomassa na Amazônia brasileira em 2005 a partir de dados MODIS/AQUA

Roberto Javier Rivera-Lombardi¹
Alberto Setzer²
Thelma Krug²

¹ Universidad Central de Venezuela - UCV/IGDR
Caixa Postal 1040 - Caracas - DC, Venezuela
robertorivera77@hotmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
alberto.setzer@cptec.inpe.br, thelma@dsr.inpe.br

Abstract. Biomass burning is a key component in atmospheric budgets of trace gases and aerosol particles. This paper presents the estimates of total biomass burning greenhouse gas emissions in the Brazilian Amazonia for the year 2005. Estimates of the amount of biomass burning are presented for land use and land cover classes, and the amount of atmospheric emissions are presented for all the vegetation physiognomies affected by fire. Burned area estimates were generated using an automated change detection algorithm that detects pixels indicative of fire scars, in a dataset of daily images from MODIS/AQUA, with different spatial resolutions (250 and 1000 m). The algorithm uses different thresholds for the detection of burned areas adapted to the spectral radiance values ($W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$) for the calculation of NDVI (bands 1 and 2) and the brightness temperature ($^{\circ}C$) of bands 20 and 21. The estimate of the total area burned in the Brazilian Amazonia was 6,360,000 ha, of which 18% (1,160,000 ha) in disturbed areas. Gross emission estimates of carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO), and nitrogen oxides (NO_x) were, 136.07 Tg/year; 10.85 Tg/year; and 0.20 Tg/year, respectively. The highest CO_2 gross emissions estimated for all the vegetation classes affected by fire was located in submontane ombrophilous open forest, lowland ombrophilous dense forest and submontane ombrophilous dense forest, totaling 30%, 12% y 29%, respectively.

Palavras-chave: remote sensing, biomass burning, atmospheric emissions, brazilian Amazonia, sensoriamento remoto, queimadas, emissões atmosféricas, Amazônia brasileira.

1. Introdução

O incremento nas concentrações atmosféricas de alguns gases de efeito estufa (GEE), devido a fatores de origem natural ou antrópica tem sido associado a possíveis mudanças no clima global. A influência exercida por esses fatores na modificação do balanço de energia no sistema Terra-atmosfera e sua importância como mecanismo potencial da mudança do clima, pode ser avaliada através do conceito de forçamento radiativo. Um forçamento radiativo positivo, como aquele produzido pelo aumento das concentrações atmosféricas de alguns GEE decorrentes de atividades humanas, altera consideravelmente a energia térmica retida na atmosfera e, conseqüentemente, o clima mundial.

Os principais GEE na atmosfera terrestre são o vapor d'água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso (N_2O), o metano (CH_4) e o ozônio (O_3). Também existem outros GEE produzidos totalmente pelo homem como os halocarbonos, o hexafluoreto de enxofre (SF_6), os hidrofluorcarbonos (HFC's) e os perfluorcarbonos (PFC's).

Dentre as atividades humanas mais importantes relacionadas ao uso da terra, mudança do uso da terra e florestas que contribuem para as emissões destes gases incluem-se o desmatamento tropical e a queima de biomassa resultante da conversão de florestas e savanas para outros usos da terra e a queima de resíduos agrícolas. A queima de biomassa induzida por atividades antrópicas ou naturais é uma fonte importante de emissões globais de gases e particulados para a atmosfera, como CO_2 , óxidos de nitrogênio (NO_x), N_2O , monóxido de carbono (CO), CH_4 e outros hidrocarbonos não metanos (HCNM) que entram na circulação

atmosférica global e contribuem para aumentar o efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) (IPCC, 2001).

O CO_2 é a espécie de maior interesse devido às grandes quantidades deste gás que são emitidas, em curtos intervalos de tempo. Gases como o CH_4 e o N_2O , liberados durante as queimadas, permanecem na atmosfera ainda que a biomassa tenha sido totalmente recuperada, já que eles não participam da fotossíntese (Crutzen e Andreae, 1990).

Técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para estimar emissões atmosféricas decorrentes da queima de biomassa. Os sistemas sensores a bordo dos satélites possuem a capacidade de prover informação sobre atividades do fogo de forma regular e sistemática em nível regional ou global.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo compreende a região brasileira do bioma Amazônia, com uma área de cerca de 4.197.000 km^2 , abrangendo em sua totalidade os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, a maior parte de Rondônia (98,8%), parte de Mato Grosso (54%), Maranhão (34%) e Tocantins (9%); representando 49,29 % do território brasileiro (IBGE, 2004) (Figura 1).



Figura 1. Localização da área de estudo (IBGE, 2004)

2.2 Material

Para a realização deste estudo foi utilizado o produto gerado pelo Algoritmo de Áreas Queimadas gerado a partir das imagens MODIS/AQUA brutas, bandas 1 (0,620 - 0,670 μm), 2 (0,841 - 0,875 μm), 20 (3,660 - 3,840 μm) e 21 (3,929 - 3,989 μm) (Setzer et al., 2007). O período de estudo compreendeu todos os meses do ano 2005.

Mapas de vegetação e uso da terra provenientes dos projetos PROBIO Amazônia (MMA, 2007), na escala 1:250.000, e do Projeto RADAMBRASIL (1981) (1:500.000), referentes aos anos 2002 e 1978, respectivamente, foram utilizados para identificar os diferentes tipos fisionômicos da vegetação estudada, visando estimar a quantidade do material combustível afetado pelo processo de queima de biomassa. As áreas de floresta convertidas para outros usos (corte raso) foram identificadas com dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento Bruto da Amazônia Legal (PRODES) (INPE/OBT, 2008), obtidos com imagens do sensor Landsat/TM (resolução espacial de 30 x 30 m), reamostrados para 60 x 60 m pela Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE) para o II Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, parte integrante da

Segunda Comunicação Nacional do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCT, no prelo).

Para o processamento dos dados orbitais foi utilizado o aplicativo TeraScan (*Remote Sensing Software Ground Station*). A integração dos produtos temáticos foi realizada com o auxílio dos aplicativos SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) (Câmara et al., 1996), ENVI (*Environment for Visualizing Images*), ARCGIS e TerraView.

2.3 Métodos

As rotinas metodológicas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho são detalhadas a seguir.

2.3.1 Criação do Banco de Dados e Processamento dos Dados Orbitais

Para a realização deste estudo foi criado um banco de dados georreferenciado utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG), no qual foram armazenados os dados orbitais, os produtos de áreas queimadas dos sensores MODIS e TM, os mapas de vegetação da área de estudo e os produtos temáticos resultantes dos cruzamentos e da interpretação desses dados. A escala de trabalho adotada foi 1:500.000, determinada com base na escala de levantamento da informação temática e na resolução espacial dos produtos MODIS (250 e 1000 m).

2.3.2 Aplicação do Algoritmo de Áreas Queimadas

O Algoritmo de Áreas Queimadas (Detecção de Áreas Queimadas), desenvolvido por Setzer et al. (2007), é um procedimento automático para a quantificação de áreas queimadas em imagens MODIS, baseado no trabalho de França (2001) para imagens AVHRR do satélite NOAA-14. Este algoritmo utiliza diferentes limiares para a detecção de áreas queimadas propostos em França (2001), adaptados aos valores de radiância espectral ($W/m^2 \cdot \mu m.sr$), para o cálculo do IVDN e de um IVDN de referência (máximo), nas bandas 1 e 2 do sensor MODIS/AQUA, e da temperatura de brilho ($^{\circ}C$) das bandas 20 e 21 do mesmo sensor.

O Algoritmo de Áreas Queimadas detecta *pixels* de queimadas nas imagens diárias da banda 20 (cena atual), contrastando-os com seus homólogos nas imagens-mosaico quinzenais de Máxima Temperatura (banda 20), do IVDN da cena atual e do IVDN de referência (anual). A detecção das áreas queimadas é feita a partir das imagens individuais. Uma vez detectado um *pixel* como área queimada, esta informação é transferida para um mosaico quinzenal que gera o total referente a cada quinzena. Assim cada mosaico quinzenal representa todas as queimadas ocorridas nas imagens individuais desse período.

Os critérios de aceitação de um *pixel* como sendo área queimada obedecem às seguintes propriedades:

- Temperaturas de brilho na cena atual da banda 20 maiores que $54,7^{\circ}C$
- IVDN da cena atual maior que $+0,15$ e o correspondente *pixel* IVDN de referência (anual) maior que $-0,15$.
- Diferença das temperaturas de brilho maior que $25^{\circ}C$ entre a cena atual (banda 20) e o *pixel* correspondente nas imagens-mosaico de Máxima Temperatura (das últimas 15 passagens disponíveis) da mesma banda.
- Finalmente, são eliminados os *pixels* sujeitos a alta reflexão solar (como corpos d'água) para ângulos solares cujo coseno é menor que $0,994$.

Estes produtos, assim como os compostos quinzenais de área queimada que foram utilizados neste trabalho para estimar as áreas queimadas, estão disponíveis na página web: <http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/>.

Cabe destacar que os limiares utilizados por Setzer et al. (2007) nos critérios de aceitação de um *pixel* como área queimada, foram fixados empiricamente após a análise dos resultados do processamento de todas as 524 imagens MODIS do satélite AQUA existentes para o ano 2004. Os resultados foram refeitos cinco vezes conforme a implementação de novas versões, em particular para eliminar falsas detecções de áreas queimadas.

2.3.3 Estimativa das emissões atmosféricas a partir da quantidade de biomassa queimada

As estimativas de emissões atmosféricas brutas foram realizadas a partir da integração de parâmetros que relacionam a quantidade da biomassa afetada pelo processo de queima, contida nas diferentes fisionomias vegetais da área de estudo, com a massa de uma espécie química determinada (CO_2) emitida durante a queimada (Rivera-Lombardi, 2009).

O estoque de carbono utilizado nas estimativas das emissões atmosféricas brutas feitas no presente estudo foi o estimado para o II Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, no prelo), a partir dos dados de biomassa constantes no inventário florestal do Projeto RADAMBRASIL (1981). Cabe destacar que para o presente estudo foi contabilizado somente o carbono contido na biomassa acima do solo.

As emissões atmosféricas brutas do CO_2 (como gás de referência) foram estimadas para as diferentes fisionomias da área de estudo valendo-se do modelo proposto por Seiler e Crutzen (1980), como apresentado na equação 3.1. A estimativa de emissões é o produto de cinco parâmetros que relacionam a quantidade da biomassa queimada com os fluxos de emissões. Para isto, foi estimada, inicialmente, a quantidade de biomassa queimada (M).

$$M = A \times B \times E \quad (\text{peso da matéria seca}) \quad (3.1)$$

Sendo, A a área total queimada (ha); B a biomassa afetada por unidade de área (t/ha); e E a eficiência da queima (adimensional).

Após a estimativa da quantidade de biomassa consumida pelo fogo (Equação 3.1), a massa total de CO_2 emitida durante a queima é relacionada com M (Equação 3.2).

$$M(\text{CO}_2) = C \times M \quad (3.2)$$

$M(\text{CO}_2)$ é a massa total de CO_2 emitida; e C é a estimativa do conteúdo de CO_2 na biomassa queimada (adimensional).

Posteriormente, a massa total de CO_2 emitida durante a queimada [$M(\text{CO}_2)$] foi relacionada com a eficiência da combustão (EC), utilizando a Equação 3.3:

$$M(\text{CO}_2) = C \times M \times EC \quad (3.3)$$

Onde, EC corresponde à fração de carbono emitido como CO_2 .

A seguir são explicados os diferentes parâmetros utilizados para a estimativa das emissões globais brutas de CO_2 . Cabe destacar que área total queimada no bioma Amazônia foi estimada aplicando o Algoritmo de Áreas Queimadas conforme descrito em 2.3.2 e os parâmetros eficiência da queima e eficiência da combustão utilizados neste estudo foram obtidos a partir de dados disponíveis na literatura.

a) Estimativa da densidade da biomassa e do conteúdo de CO_2

As estimativas da densidade da biomassa e do CO_2 no bioma Amazônia foram geradas para cada tipo fisionômico considerado no Projeto RADAMBRASIL (1981), baseadas em

dados coletados em 2.042 unidades amostrais, para um total de 122.096 indivíduos amostrados. Esses dados apresentam medidas da circunferência à altura do peito (CAP) e da altura para cada árvore amostrada, agrupadas por unidade amostral, com as respectivas coordenadas geodésicas e indicação das folhas RADAMBRASIL na escala 1:1.000.000. Para cada unidade amostral (um hectare) foi estimada a densidade do carbono (CO_2) contido na biomassa acima do solo, mediante o somatório do carbono contido em cada indivíduo amostrado.

b) Caracterização do tipo de fisionomia vegetal afetada pelo processo de queima de biomassa

A quantificação da biomassa e do conteúdo de carbono (parâmetros B e C da equação 3.1) foi feita a partir de mapas de vegetação. Para isto, as densidades da biomassa e do CO_2 do bioma Amazônia, estimadas para cada tipo fisionômico de vegetação, a partir das unidades amostrais do Projeto RADAMBRASIL (1981), foram extrapoladas para mapas de vegetação atualizados para os anos 1994 (MCT, 2006) e 2002 (MCT, no prelo), na escala 1:250.000.

Além das informações temáticas e cartográficas foram utilizadas imagens do satélite Landsat/TM para a elaboração dos mapas de vegetação atualizados (1994 e 2002). O levantamento incluiu o mapeamento tanto de áreas naturais quanto de áreas antropizadas como: florestas (natural, plantada ou secundária), áreas agrícolas, pastagens, solo exposto, áreas urbanas, corpos d'água, nuvens e respectivas sombras. Em seguida, obteve-se o carbono médio na biomassa acima do solo, para cada tipo de vegetação considerado e cada mapa de vegetação na escala 1:1.000.000.

3. Resultados e Discussão

3.1 Estimativa da Área Queimada

O total da área queimada estimada com o uso do Algoritmo de Áreas Queimadas foi de aproximadamente 6.360.000 ha (Figura 2).

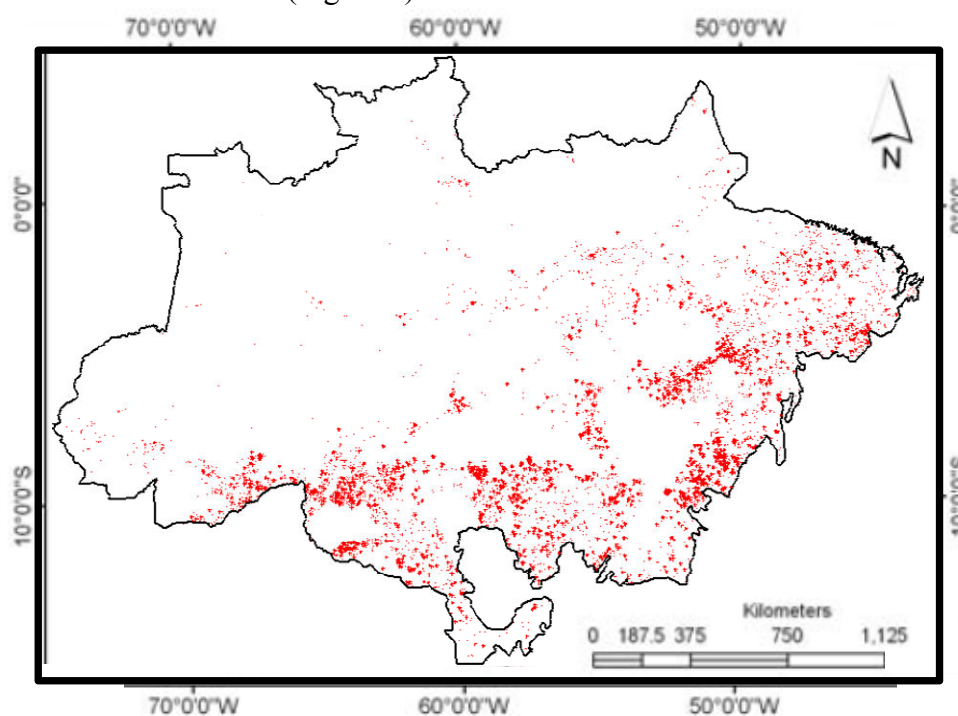


Figura 2. Área afetada pela queima conforme estimada pelo Algoritmo de Áreas Queimadas (2005).

Este resultado pode ser comparado com o resultado obtido por Lima et al. (2008) para a Amazônia brasileira sob domínio de formações florestais e para o mesmo período de estudo (2005), correspondente a uma superfície de aproximadamente 3.850.000 km², cerca de 347.000 km² a menos do que a superfície considerada no presente estudo. A estimativa da área total queimada por esses autores foi de 48.518 km².

Lima et al. (2008) estimaram a área queimada mediante a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), a partir das informações obtidas em séries temporais de imagens de refletância de superfície do sensor MODIS/Terra, bandas 1 (0,620 – 0,670µm), 2 (0,841-0,876 µm) e 6 (1,628 - 1,652 µm), com resolução espacial nominal de 250 m (bandas 1 e 2) e 500 m (banda 6). O método consiste na identificação das cicatrizes deixadas pelo fogo, visando a geração de imagens fração (vegetação, solo e sombra). A imagem fração sombra é segmentada, realçando somente alvos que apresentaram baixa refletância espectral, indicativos de cicatrizes deixadas pelo fogo após a ocorrência da queima.

A diferença entre as estimativas de áreas queimadas obtidas neste estudo e através do método aplicado por Lima et al. (2008) é de 15.082 km² (1.508.200 ha) ou cerca de 31,% menor que a estimada pelo Algoritmo de Áreas Queimadas. Essa diferença pode ser explicada pela diferença entre a área de estudo abrangida pelos dois estudos para estimar a área queimada na Amazônia brasileira (cerca de 9% maior neste estudo). No estudo de Lima et al. (2008) foram desconsideradas as áreas antropizadas, onde a ocorrência de queimadas foi estimada, no presente estudo, em cerca de 12.400 km². Assim, pode-se afirmar que os dois resultados são consistentes.

3.1 Estimativa de Emissões Atmosféricas Brutas

As emissões atmosféricas brutas de CO₂ foram estimadas empregando-se o produto Algoritmo de Áreas Queimadas gerado a partir de dados do sensor MODIS/AQUA, para cada uma das fisionomias afetadas pelo fogo no bioma Amazônia. Posteriormente, as emissões de CO₂ foram utilizadas como gás de referência para estimar a massa total de outras espécies químicas emitidas (CO, e NO_x) aplicando um quociente de emissão.

As estimativas das emissões atmosféricas brutas de dióxido de carbono (CO₂); monóxido de carbono (CO); e conjuntamente de óxidos de nitrogênio (NO_x) foram 136,07 Tg/ano; 10,85 Tg/ano; e 0,20154 Tg/ano, respectivamente. Dentre as maiores emissões brutas de CO₂ estimadas para todas as classes de vegetação afetadas pelo fogo, 71 por cento localizaram-se em áreas de floresta ombrófila aberta sub-montana (AS), floresta ombrófila densa de terras baixas (DB) e floresta ombrófila densa sub-montana (DS), totalizando 30, 12 e 29 por cento, respectivamente.

As estimativas de emissões atmosféricas brutas para cada classe de vegetação afetada pelo fogo são mostradas na Tabela 1. Onde, A corresponde a área queimada; BC é a densidade total de CO₂ na biomassa; FBV é a fração da biomassa viva acima do solo; E é a eficiência da queima; EC é a eficiência da combustão; M(CO₂) é a massa total de CO₂ emitida; RECO é o quociente de emissão, ou seja, a razão entre a concentração de CO e a concentração de uma espécie de referência (CO₂) emitida durante a queimada (CO/CO₂); e RENO_x é o quociente de emissão (NO_x/CO).

Tabela 1. Estimativa de emissões atmosféricas brutas (CO₂, CO e NO_x) para o bioma Amazônia

Classe de Vegetação	A (ha)	A x BC	FBV	E	EC	M(CO ₂) (Tg/ano)	RECO	M(CO) (Tg/ano)	RENO _x	M(NO _x) (Tg/ano)	M(CO ₂) (%)
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (AA)	67.594,74	5.867.146,36	0,7	0,5	0,88	1,81	0,081419	0,15	0,017	0,0025	1,33
Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas (AB)	373.091,39	27.623.176,76	0,7	0,5	0,88	8,51	0,081419	0,69	0,017	0,01178	6,25
Floresta Ombrófila Aberta Sub Montana (AS)	1.602.412,85	131.974.664,79	0,7	0,5	0,88	40,65	0,081419	3,31	0,017	0,05626	29,87
Floresta Estacional Decidual – Terras Baixas (CB)	1.274,38	91.793,84	0,7	0,5	0,9	0,03	0,081419	0	0,024	0,00006	0,02
Floresta Estacional Decidual – Submontana (CS)	10.019,53	721.706,80	0,7	0,5	0,9	0,23	0,081419	0,02	0,024	0,00044	0,17
Floresta Ombrófila Densa Aluvial (DA)	86.622,74	8.279.593,50	0,7	0,5	0,88	2,55	0,081419	0,21	0,017	0,00353	1,87
Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas (DB)	602.263,56	54.105.600,34	0,7	0,5	0,88	16,66	0,081419	1,36	0,017	0,02307	12,24
Floresta Ombrófila Densa Montana (DM)	228,51	17.528,75	0,7	0,5	0,88	0,01	0,081419	0	0,017	0,00001	0,01
Floresta Ombrófila Densa Submontana (DS)	1.363.793,18	128.113.115,06	0,7	0,5	0,88	39,46	0,081419	3,21	0,017	0,05462	29,00
Floresta Estacional Semi-Decidual Aluvial (FA)	15.045,26	901.662,22	0,7	0,5	0,9	0,28	0,081419	0,02	0,024	0,00055	0,21
Floresta Estacional Semi-Decidual Terras Baixas (FB)	38.097,38	2.283.176,17	0,7	0,5	0,9	0,72	0,081419	0,06	0,024	0,00141	0,53
Floresta Estacional Semi-Decidual Submontana (FS)	503.590,94	29.975.724,19	0,7	0,5	0,9	9,44	0,081419	0,77	0,024	0,01845	6,94
Campinarana Arborizada (LA)	915,31	74.882,75	0,7	0,5	0,98	0,03	0,081419	0	0,029	0,00006	0,02
Campinarana Arbustiva (LB)	483,97	42.836,26	0,7	0,5	0,98	0,01	0,081419	0	0,03	0,00004	0,01
Campinarana Florestada (LD)	1.843,17	137.810,24	0,7	0,5	0,98	0,05	0,081419	0	0,029	0,00011	0,04
Campinarana Gramíneo-Lenhosa (LG)	4.037,51	425.755,37	0,05	0,95	0,96	0,02	0,039916	0	0,037	0,00003	0,01
Contato Campinarana e Floresta Ombrófila (LO)	1.129,44	83.499,20	0,7	0,5	0,98	0,03	0,081419	0	0,017	0,00004	0,02
Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre (PA)	74.999,31	9.545.340,13	0,05	0,95	0,96	0,44	0,039916	0,02	0,037	0,00064	0,32
Vegetação com influência flúvio marinha (PF)	3.924,93	544.034,91	0,7	0,5	0,91	0,17	0,069561	0,01	0,024	0,00029	0,12
Refúgio Montano (RM)	3.048,81	253.295,54	0,7	0,5	0,9	0,08	0,081419	0,01	0,017	0,00011	0,06
Savana Arborizada (SA)	71.873,81	4.791.573,45	0,8	0,89	0,93	3,17	0,057703	0,18	0,03	0,00549	2,33
Savana Florestada (SD)	206.640,29	11.685.409,32	0,8	0,89	0,88	7,32	0,081419	0,6	0,024	0,01431	5,38
Savana Gramíneo Lenhosa (SG)	14.461,48	1.375.286,92	0,05	0,95	0,96	0,06	0,039916	0	0,037	0,00009	0,04
Savana Parque (SP)	75.835,73	7.209.103,12	0,7	0,89	0,94	4,22	0,051774	0,22	0,034	0,00743	3,10
Savana Estéptica Florestada (TD)	1.717,31	102.970,07	0,8	0,89	0,88	0,06	0,081419	0,01	0,024	0,00013	0,04
Savana Estéptica Gramíneo Lenhosa (TG)	166,76	15.858,53	0,05	0,95	0,96	0	0,039916	0	0,037	0	0,00
Savana Estéptica Parque (TP)	889,3	84.572,17	0,8	0,89	0,94	0,06	0,051774	0	0,034	0,0001	0,04
Áreas antropizadas	1.242.226,33										
Total	6.368.227,95					136,07		10,85		0,20154	100,00

4. Conclusões

O estudo mostrou a viabilidade do uso de produtos de detecção automática das áreas queimadas em escala regional, utilizando dados orbitais de alta resolução espacial e baixa resolução temporal (MODIS/AQUA y TERRA), para estimar as emissões atmosféricas de GEE resultantes da queima de biomassa. No entanto, estimativas mais confiáveis das emissões atmosféricas serão possíveis com o esforço da comunidade científica internacional em desenvolver procedimentos e metodologias de validação dos produtos de áreas queimadas, que possam ser implementados como parte essencial do desenvolvimento de produtos para estimar áreas queimadas, principalmente em projetos consolidados de detecção automática em nível regional, continental ou global.

Por outro lado, qualquer tentativa de aperfeiçoar-se as técnicas e os procedimentos relativos à quantificação de áreas queimadas, deve considerar fatores condicionantes como a confusão das áreas queimadas com outros alvos espectralmente similares, a dificuldade em se mapear áreas queimadas de dimensão menor do que a resolução espacial dos sensores (no

nadir) e a resolução temporal adequada aos requerimentos de cada região de estudo, visando estimativas mais precisas do que as disponíveis atualmente.

Um fator importante que contribui com as incertezas nas estimativas de emissões atmosféricas brutas de GEE, geradas a partir de dados de orbitais, refere-se à diversidade dos parâmetros utilizados nos modelos de emissões, os quais apresentam margens de erros pouco conhecidas. Embora um grande volume dessas informações tenha sido recopilado até o presente, estas encontram-se dispersas em um grande número de publicações e apresentadas em diferentes unidades e sistemas de referência, dificultando a comparação de resultados.

5. Referências Bibliográficas

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

França, H. Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA. 2001. 121 p. Tese (Doutorado em Ciências)–Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Instituto nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)/Coordenação de Observação da Terra (OBT). **Projeto Prodes - monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> . Acesso em: 01/03/2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [S.l.], 2001. **Cambio Climático 2001**: Informe de Síntese. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Mapa de Vegetação do Brasil**, 1:5.000.000. Rio de Janeiro, IBGE. 2004.

Lima, A.; Shimabukuro, Y. E.; Adami, M.; Freitas, R. M.; Aragão, L. E. O. C.; Formaggio, A. R.; Rivera-Lombardi, R. Mapeamento de Cicatrizes de Queimadas na Amazônia Brasileira a partir da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral em imagens do sensor MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 5925-5932. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.49>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Primeiro inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa: emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas**. Brasília, 2006. Relatórios de Referência.

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Segundo inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa: emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas**. Brasília, 2008. Relatórios de Referência. No prelo.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO)**. Brasília, 2007. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/. Acesso em: 30/06/2008.

Projeto RADAMBRASIL. **Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: 1981. (Levantamento de Recursos Naturais).

Rivera-Lombardi, R. Estimativa de áreas queimadas com produtos MODIS como subsídio à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e Cerrado brasileiros. 2009. 187 p. (INPE-15783-TDI/1526). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.

Seiler, W.; Crutzen, P. J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climate Change**, v.2, p. 207-247, 1980.

Setzer, A.; Morelli, F.; Rivera-Lombardi, R. Estimativa quinzenal de áreas queimadas. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. Cap. 28, p.403-417.