

## **Estimativa do impacto das queimadas e emissão dos gases do efeito estufa no Bioma Pantanal em 2010**

Francielle da Silva Cardozo <sup>1</sup>  
Samuel Martins da Costa Coura <sup>1</sup>  
Gabriel Pereira <sup>1,2</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro <sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil  
{cardozo, samuel, gabriel, yosio, bete}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo – USP  
Av. Prof. Lineu Prestes, 159 - Caixa Postal 26097  
05513-970 - São Paulo, SP - Brasil  
{gabrielpereira, elisasiq@usp.br}

**Resumo:** A mudança no uso e cobertura da terra a partir das queimadas constitui a prática de manejo mais utilizada no Brasil, principalmente para a expansão das atividades agropecuárias, provocando o consumo de grandes quantidades de biomassa e causando modificações na qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais, além de serem consideradas como uma das mais importantes fontes de liberação de gases traços e aerossóis para a atmosfera. Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste no mapeamento das áreas queimadas e na estimativa da emissão de gases do efeito estufa no Bioma Pantanal para o ano de 2010 a partir da metodologia proposta pelo *Revised 1996 Guidelines of Intergovernmental Panel on Climate Change*. Os resultados mostraram que as queimadas abrangeram 12.325 km<sup>2</sup> na área de estudo, equivalendo a 7,7% de todo o Bioma, ocorrendo principalmente em áreas de pastagens e gramíneas, e que a classe cerradão apresentou os maiores valores da biomassa total que foi queimada. Ainda, os resultados da emissão total dos gases do efeito estufa indicaram que 33 Gg de CH<sub>4</sub>, 876 Gg de CO, 0,41 Gg de N<sub>2</sub>O e 154 Gg de NO<sub>x</sub> foram liberados para a atmosfera no ano de 2010, ocasionando um incremento regional na química da atmosfera, fator que altera o balanço de energia a partir do aumento da temperatura na atmosfera.

**Palavras-chaves:** áreas queimadas, gases do efeito estufa, sensoriamento remoto, Pantanal.

**Abstract:** The change in land use and land cover due to biomass burning is the most widely used management practice in Brazil, mainly for the expansion of agricultural activities, resulting in the consumption of large amounts of biomass and causing changes in water, air and soil quality and other natural resources, and in addition, this is one of the most important sources of trace gases and aerosols released into the atmosphere. Therefore, the objective of this work was to map the burned areas and estimate the resultant emission of greenhouse gases in the Pantanal for the year 2010 by the methodology proposed by the *Revised 1996 Guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. The results showed that the fires covered 12,325 km<sup>2</sup> in the study area, equivalent to 7.7% of the entire Pantanal biome, occurring mainly in areas of pasture and grassland, and the vegetation class that presented the highest values of total burned biomass was the cerrado. Estimates of the total greenhouse gas emissions indicated that 33 Gg of CH<sub>4</sub>, 876 Gg of CO, 0.41 Gg of N<sub>2</sub>O and 154 Gg of NO<sub>x</sub> were released into the atmosphere in 2010, resulting in a significant regional impact on atmospheric chemistry, changing the energy balance and creating an increase in atmospheric temperature.

**Key Words:** fire, greenhouse gases, remote sensing, Pantanal.

## 1. Introdução

As queimadas ocorrem a milhões de anos em todo o mundo, porém as estimativas indicam que 90% das ocorrências atuais sejam de origem antrópica (Andreae, 1991; Andreae e Merlet, 2001). Neste contexto, a mudança no uso e cobertura da terra a partir das queimadas constitui a prática de manejo mais utilizada no Brasil, principalmente para a expansão das atividades agropecuárias que apresentam grande variabilidade temporal e espacial. Desta forma, as queimadas consomem grandes quantidades de biomassa, modificando a qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais, além de serem consideradas como uma das mais importantes fontes de emissão de gases traços e aerossóis para a atmosfera (Babbitt et al., (1996); Moraes et al. (2004) ).

A atmosfera é composta por diversos gases como o Oxigênio (O<sub>2</sub>) e o Nitrogênio (N<sub>2</sub>), que interagem com a radiação solar e com a radiação na faixa do espectro eletromagnético (EEM) do infravermelho termal de forma limitada, porém, 0,1% da composição química da atmosfera é composta por outras espécies de gases traço, como o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), o Metano (CH<sub>4</sub>), os Óxidos de Nitrogênio (N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>) e o Ozônio (O<sub>3</sub>), que absorvem e emitem a radiação infravermelha termal. Esses gases são liberados na ocorrência de uma queimada, além do monóxido de carbono (CO), do vapor de água (H<sub>2</sub>O) e dos hidrocarbonetos. A emissão destes gases ocasionam a absorção e espalhamento da radiação infravermelha termal, proporcionando o aquecimento da atmosfera e provocando alterações nos ciclos biogeoquímicos, na química atmosférica e no clima, fatores que auxiliam na alteração do balanço de energia do planeta (Kaufman et al., 1995; Giglio et al., 2006).

Estudos indicam que o ozônio troposférico permanece por algumas horas ou dias na atmosfera, o CH<sub>4</sub> possui um tempo de vida de aproximadamente 12 anos, outras espécies de gases, como o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), podem permanecer por até 114 anos e o CO<sub>2</sub> pode permanecer na atmosfera por um período de 100 a 200 anos (Ipcc, 2001). Portanto, o mapeamento das áreas queimadas se torna fundamental para a obtenção de estimativas mais precisas das alterações ambientais, pois além de possibilitar o monitoramento das mudanças no uso e cobertura da terra, fornece os dados de entrada necessários para a representação das características físico-químicas e biológicas em modelos atmosféricos de qualidade do ar e o papel de emissões dos gases de efeito estufa na mudança climática global.

Desta forma, os dados provenientes de satélites são cada vez mais utilizados nos estudos envolvendo as queimadas, tanto para a identificação quanto para o monitoramento em diversas escalas, principalmente devido ao custo relativamente baixo, quando comparado com métodos convencionais. Sendo assim, o uso do sensoriamento remoto é de fundamental importância, pois fornece a cobertura temporal e espacial necessária ao monitoramento e mapeamento das áreas queimadas, assim como a análise de seus impactos no meio ambiente e nos fluxos de energia entre a superfície e a atmosfera.

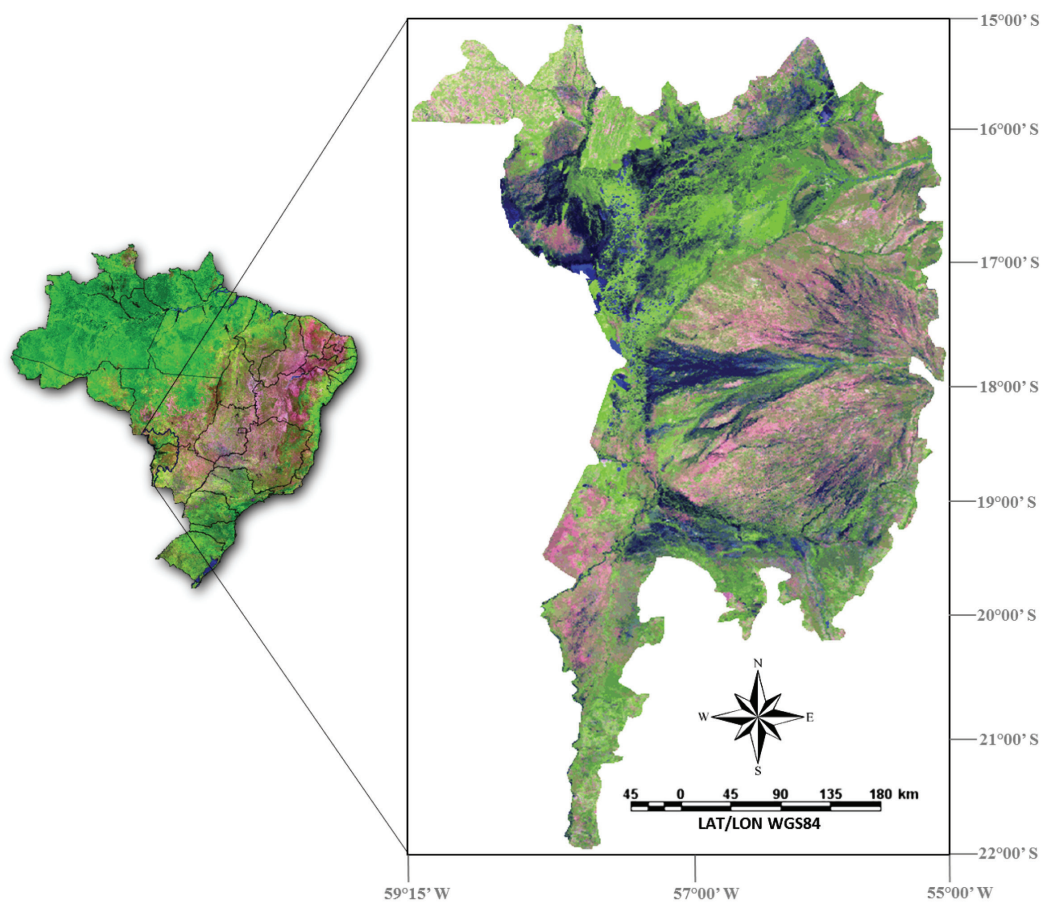
## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste no mapeamento das áreas queimadas e na estimativa do papel das queimadas na emissão dos gases do efeito estufa no Bioma Pantanal para o ano de 2010 a partir da metodologia proposta pelo *Revised 1996 Guidelines of Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2000).

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo engloba o Bioma Pantanal, situado na porção centro-sul do Continente Sul-Americano, entre as coordenadas 59°00'W e 22°00'S; e 55°00'W e 15°00'S. Possui uma área de aproximadamente 160 mil km<sup>2</sup>, no qual 35% desse total situam-se no Estado do Mato Grosso e 654% no Estado do Mato Grosso do Sul, conforme mostra a **Figura 1**.



**Figura 1.** Localização da área de estudo, imagem MODIS, composição 1B2G6R.

A vegetação do Bioma Pantanal é ocupada por áreas predominantemente savânicas, composta pela vegetação do cerrado, que ocupam milhões de hectares na região central do Brasil, caracterizadas por possuir formações vegetais que variam de campos abertos até florestas densas. A vegetação pode ser classificada em 5 tipos principais: Cerradão (Savana Florestada) - possui fisionomia típica, caracterizado pela formação arbórea com espécies que ocorrem no cerrado e em florestas tropicais estacionais; Cerrado sensu stricto (Savana) - vegetação xeromorfa preferencialmente de clima estacional, composto por uma camada arbórea com presença de arvoredos, gramíneas e ramificações irregulares e distorcidas; Campo Cerrado (Savana Arborizada) - vegetação arbóreo-arbustiva de formação natural ou antrópica, possuindo árvores que podem alcançar de 2 a 3 metros; Campo Sujo - composta basicamente por vegetação herbáceo-arbustiva; Campo Limpo - presença predominante de vegetação herbácea e poucos arbustos; Áreas de formações pioneiras/gramíneo lenhosas - presentes ao longo do litoral e nas planícies fluviais periodicamente alagáveis, ocorrendo frequentemente em terrenos instáveis cobertos de vegetação em constante sucessão; e Vegetação com Influência Fluvial - comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou das depressões alagáveis anualmente (Ibge, 1992).

Ao longo das últimas décadas ocorreu um grande aumento da ocupação nessa região, provocando muitas mudanças na vegetação principalmente devido à formação de pastagens e fomento à pecuária. Como em todas as savanas neotropicais, no Pantanal é bastante comum a presença de incêndios recorrentes, iniciados tanto por fenômenos naturais quanto pela atividade humana (Aduan et al. (2003) ).

### **3.2 Mapeamento das áreas queimadas**

O mapeamento das áreas queimadas do Bioma Pantanal foi realizado a partir de imagens do sensor TM/Landsat5, que possui 7 bandas espectrais, 30 metros de resolução espacial e 16 dias de resolução temporal. O período de análise foi o ano de 2010 e as imagens foram obtidas do site [www.dgi.inpe.br](http://www.dgi.inpe.br). Para o mapeamento realizou-se uma seleção de todas as imagens que apresentavam queimadas no ano estudado, totalizando 15 cenas e 42 imagens.

O processamento das imagens e o mapeamento das áreas queimadas foram realizados a partir da utilização do aplicativo de geoprocessamento SPRING 4.3.1. Neste aplicativo, todas as imagens foram inseridas e corrigidas geometricamente a partir do modelo polinomial de 1º grau e do interpolador vizinho mais próximo. As imagens foram registradas a partir da base *geocover* disponibilizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (Nasa), originadas de dados da série Landsat, submetidos a procedimentos de ortorretificação para minimizar os deslocamentos sofridos na imagem pelo relevo.

O mapeamento da área queimada foi obtido a partir da segmentação da imagem com o intuito de gerar polígonos espectralmente homogêneos, aplicando-se limiares de similaridade (limiar mínimo abaixo em que duas regiões são consideradas similares e agrupadas em um único polígono) e área (valor mínimo de área dado em número de pixels para que uma região fosse individualizada), empregando-se, desta forma, os limiares 12 para similaridade e 8 para área, estipulados com base na complexidade da forma, da dimensão e pelos desvios de médias dos valores dos níveis de cinza apresentados pelas cicatrizes de queimadas. Após a segmentação, atribuíram-se os agrupamentos referentes às áreas queimadas e, posteriormente, realizou-se uma edição manual, minimizando eventuais erros de inclusão e omissão decorrentes da segmentação, permitindo um

mapeamento com maior confiabilidade.

### 3.3 Estimativa de emissão dos gases CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub>

Para as estimativas dos gases emitidos pela queima da biomassa, foi utilizada a metodologia proposta no *Revised 1996 Guidelines of Intergovernmental Panel on Climate Change* (Ipcc, 2000), necessitando-se para isso a quantificação de diversos parâmetros como a área queimada, a densidade de biomassa, a fração de biomassa acima do solo, a eficiência de queima e o fator de emissão de gases de cada espécie vegetal (Seiler e Crutzen, 1980). O cálculo desses parâmetros foi originado a partir da metodologia do Ipcc (2000) prescrita para savanas utilizando os valores propostos pelo MCE (2002), obtendo-se desta forma a emissão total dos gases do efeito estufa no ano de 2010 provenientes das queimadas ocorridas no Pantanal.

### 3.4 Dados de Biomassa

Para utilizar a metodologia acima descrita, é necessário, além da quantificação da área queimada, dos dados de biomassa para cada tipo de formação florestal, portanto, o mapa base da vegetação do Pantanal foi adquirido da Embrapa (2004). Porém, as classes da vegetação oriundas desta base foram compatibilizadas e renomeadas adotando o Manual Técnico de Vegetação do IBGE (Ibge, 1992), visando à adequação das classes de vegetação das quais havia informações sobre a quantidade e qualidade de biomassa viva acima do solo.

Desta forma, primeiramente as classes de vegetação foram identificadas e posteriormente foi realizada a junção das formações florestais que possuíam características fitofisionômicas, florísticas e ecológicas em comum, embasadas em Ibge (1992), originando ao final o agrupamento em classes de gramíneas, campo sujo, cerrado ralo, cerrado e cerradão.

Após essa etapa, os dados da densidade de biomassa viva acima do solo para cada tipo de vegetação foi adquirido de Ottmar et al. (2001), na publicação Séries de Estéreo-Fotografias para Quantificar a Biomassa da Vegetação do Cerrado do Brasil Central-Volume I. As séries de fotografias mostram uma variação das condições naturais e quantidade de combustível em ecossistemas do cerrado no Brasil Central, e cada conjunto de fotografias foi acompanhado por informações sobre a composição, estrutura e biomassa da vegetação, a biomassa lenhosa morta acumulada e da serrapilheira, tendo como objetivo auxiliar os pesquisadores de modelagem ecológica a avaliar a quantidade de combustível e a vegetação em condições naturais (Ottmar et al. (2001) ).

A **Tabela 1** mostra alguns dos valores utilizados para o cálculo da emissão dos gases, sendo que os dados da densidade de biomassa da vegetação do pantanal foram extraídos de Ottmar et al. (2001) e os outros parâmetros de MCE (2002).

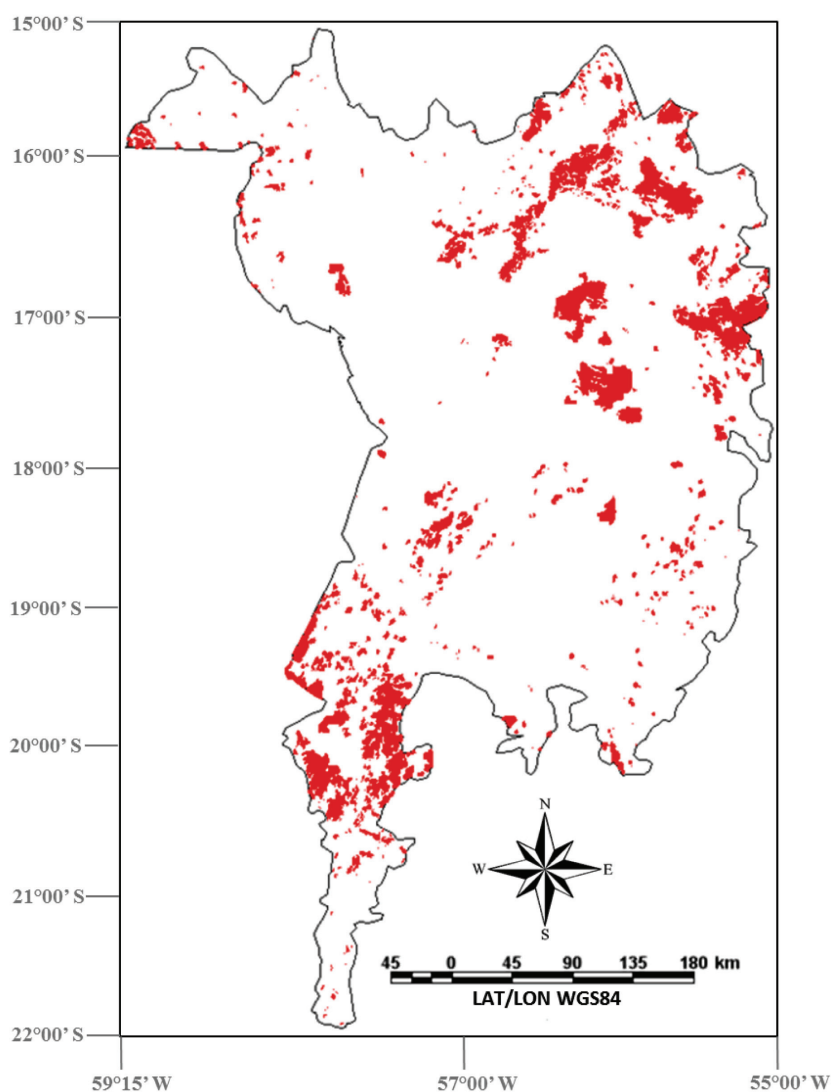
## 4. Resultados e Discussão

A **Figura 2** mostra o mapa das áreas queimadas totais que ocorreram no Bioma Pantanal no ano de 2010. Como pode-se perceber, as maiores cicatrizes de queimadas localizam-se na região nordeste, abrangendo os Municípios de Poconé e Barão do Melgaço, na região leste, abrangendo parte dos Municípios de Santo Antônio do Leverger

e Itiquira e na área central e ao sul do Bioma, presentes dentro do Município de Corumbá.

**Tabela 1.** Valores utilizados para o cálculo da emissão dos gases.

Tipo de vegetação	Área queimada (10 <sup>3</sup> xha)	Densidade de biomassa (t/ha)	Fração de biomassa viva	Eficiência de queima
Gramínea	497,54	7,45	0,27	0,99
Campo sujo	345,40	9,98	0,27	0,95
Cerrado ralo	207,85	22,17	0,3	0,91
Cerrado	12,61	37,04	0,32	0,89
Cerradão	137,28	51,28	0,31	0,8



**Figura 2.** Mapas das áreas queimadas do Bioma Pantanal no ano de 2010.

Na **Figura 3** podem ser visualizadas as maiores cicatrizes de queimadas que ocorreram no ano de 2010 na área de estudo, salientando que as imagens das cicatrizes referem-se apenas a uma das datas utilizadas para originar o mapeamento. Ao total, as queimadas abrangeram 12.325 km<sup>2</sup> na área de estudo, equivalendo a 7,7% de todo o Bioma. Ainda,

as queimadas ocorreram em maior parte em áreas de pastagens e gramíneas (4.975 km<sup>2</sup>) seguidas do campo sujo (3.440 km<sup>2</sup>), cerrado ralo (2.078 km<sup>2</sup>) e cerradão (1.372 km<sup>2</sup>). As menores ocorrências de queimadas localizam-se em áreas de florestas estacionais decíduais e semidecíduais (319 km<sup>2</sup>) e a classe cerrado (126 km<sup>2</sup>).

Em relação à densidade de biomassa, as classes que possuem os maiores valores em toneladas por hectares (T/ha) são cerradão (51 T/ha), cerrado (37 T/ha), cerrado ralo (22 T/ha), campo sujo (109 T/ha) e gramíneas (7,4 T/ha), sendo que diversos estudos sobre a biomassa da vegetação no Cerrado apresentam valores que variam de 11 a 52 T/ha (Fearnside, 1992; Castro e Kauffmann, 1998; Abdala et al., 1998), e a grande disparidade entre os valores encontrados provavelmente ocorrem devido à heterogeneidade fitofisionômica da vegetação, às diferentes metodologias de amostragem e aos diferentes regimes de queima nas áreas estudadas. Sendo assim, para determinar a quantidade total de biomassa que foi queimada, é necessário fazer o produto da área queimada pela densidade média de biomassa para cada classe. Conseqüentemente, os resultados mostram que a classe cerradão apresentou os maiores valores da biomassa total que foi queimada (7.040 T/ha), seguida da classe cerrado ralo (4.608 T/ha), gramíneas (3.706 T/ha), campo sujo (3.447 T/ha) e cerrado (467 T/ha).

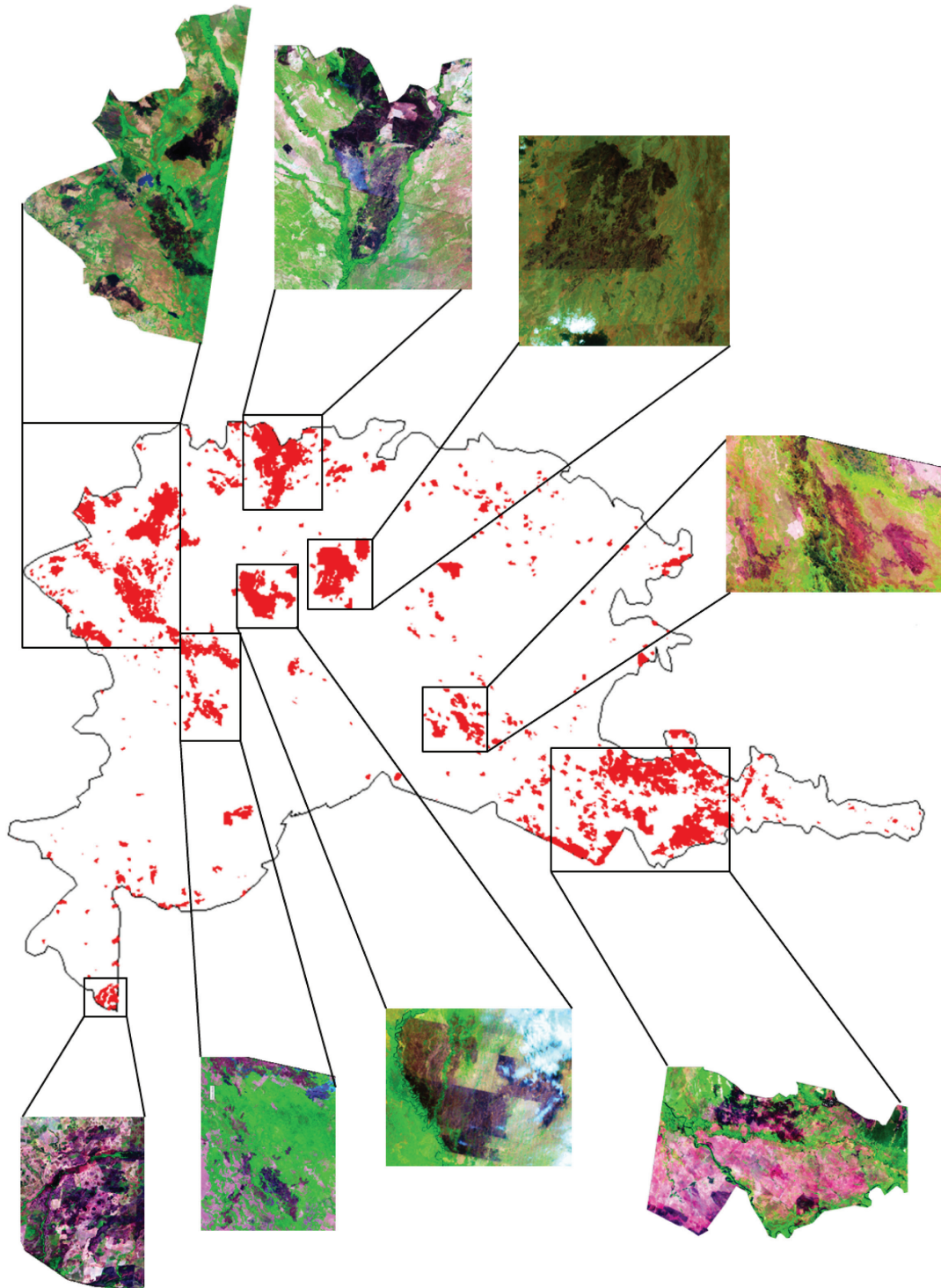
O resultado da emissão total dos gases do efeito estufa indicam que 33 Gigagramas (Gg) de metano (CH<sub>4</sub>), 876 Gg de monóxido de carbono (CO), 0,41 Gg de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e 154 Gg de NO<sub>x</sub> foram liberados para a atmosfera no ano de 2010, e estas estimativas demonstraram que ocorreu um incremento significativo na química da atmosfera regional. Tais gases estão presentes normalmente na atmosfera e são essenciais para manter a estabilidade do clima e dos ecossistemas, devido à absorção da radiação eletromagnética emitida pelo sol e da radiação infravermelha termal emitida pela terra, tornando a superfície do planeta aquecida.

Porém, com o aumento da concentração destes gases na atmosfera devido à queima de biomassa, a absorção da radiação torna-se bem mais alta, fator que altera o balanço de energia global a partir do aumento da temperatura do planeta e, como esses gases permanecem na atmosfera por anos, isso significa que as emissões atuais podem provocar efeitos de longa duração, podendo impactar o regime climático por muito tempo.

## 5. Conclusões

Neste estudo pode-se perceber que as atividades econômicas ligadas com a expansão da agropecuária provocam um grande impacto no Bioma Pantanal, principalmente às que utilizam a queima da biomassa para esta finalidade. Desta forma, percebeu-se que no ano de 2010 mais de 7% de toda a área do Bioma foi queimada, totalizando 12.325 km<sup>2</sup> e que as queimadas ocorreram em maioria em áreas de pastagens e gramíneas (4.975 km<sup>2</sup>). Ainda, os resultados mostraram que a vegetação que apresentou as maiores taxas de biomassa queimada foi a classe cerradão, apresentando 7.040 T/ha de biomassa queimada.

A partir desses resultados, pode-se estimar a quantidade total de gases do efeito estufa que foram liberados para a atmosfera nesta época, demonstrando que ocorreu um incremento significativo na química da atmosfera regional, e como a permanência desses gases na atmosfera é alta, o impacto no regime climático pode ocorrer por muitos anos, principalmente quando somados com a liberação dos gases provenientes de outras queimadas. Além destas estimativas de emissão dos gases menores, quando as queimadas causam uma redução permanente da biomassa vegetal e matéria orgânica nos solos, a diferença pode ser considerada como um aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera.



**Figura 3.** Áreas queimadas e as maiores cicatrizes ocorridas no ano de 2010 no Bioma Pantanal.



## 6. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio (2010/07083-0, 2010/17437-4, 2011/08000-4 e 2011/12057-1).

## 7. Referências

- Abdala, G. C.; Caldas, L. S.; Haridasan, M.; Eiten, G. Above and below ground organic matter and root: shoot ratio in a Cerrado Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, n.1, p. 11-23, 1998.
- Aduan, R. E.; Vilela, M. F.; Klink, C. A. **Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres: O Caso do Cerrado Brasileiro**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA cerrados, Documentos 105, p. 1517-5111, 2003.
- Andreae, M. O. Biomass burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. **In:** Levine, J. S. (Ed.), *Global Biomass Burning*. The MIT Press, Cambridge, MA, p. 3-21, 1991.
- Andreae, M. O.; Merlet, P. Emission of trace gases and aerosols from Biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 4, n. 15, p. 955-966, 2001.
- Babbitt, R. E.; Ward, D. E.; Susott, R. A.; Artaxo, P.; Kauffmann, J. B. A. Comparison of concurrent airborne and ground-based emissions generated from Biomass burning in the Amazon Basin. **In:** SCAR-B **Proceedings: Collection of Paper Presented at the Fortaleza, CE, Brazil, Workshop**, edited by KIRCHHOFF, V. W. J. H, pp. 16-20, Transtec Editorial, São José dos Campos, Brazil, 1996.
- Castro, E. A.; Kauffmann, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of above ground Biomass, toot mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, United Kingdom, v.14, p. 263-283, 1998.
- Embrapa. **Levantamento e mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do Bioma Pantanal, período de 2002 na escala de 1:250.000**. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, 43 p., 2004.
- Fearnside, P. M. Greenhouse gas emissions from deforestation in Brazilian Amazonia. **Carbon emissions and sequestration in forests: case studies from developing countries**. Berkley: EPA; UC Berkley, v. 2, p. 73, 1992.
- Giglio, L.; Van der Werf, G. R.; Randerson, J. T.; Collatz, G. J.; Kasibhatla, P. S. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, p. 957-974, 2006.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências, n.1, Rio de Janeiro, p. 133, 1992.
- Ichoku, C.; Kaufman, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Trans. on Geosc. & Rem. Sens.**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. OECD, IEA. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Workbook: Bracknell, UK, 2000.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. **Third Assessment Report (TAR), climate change, the scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the international panel on climate change**. New York: Cambridge Univ. Press, 2001.
- Kauffmann, J. B.; Cummings, D. L.; Ward, D. E.; Babbitt, R. Fire in the Brazilian Amazon: Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. **Oecologia**, v. 104, p. 397-408, 1995.
- MCE. First Brazilian Inventory of anthropogenic greenhouse gas emissions background reports. Ministry of Science and Technology, 2002. Disponível em: < [http://ftp.mct.gov.br/Clima/comunic\\_old/pdf/queimac\\_i.pdf](http://ftp.mct.gov.br/Clima/comunic_old/pdf/queimac_i.pdf)>. Acesso em 01/09/2006.
- Moraes, E. C.; Franchito, S. H.; Brahmananda Rao, V. Effects of Biomass burning in Amazonia on climate: A numerical experiment with a statistical-dynamical model. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. D05109, p. 1-12, 2004.
- Ottmar, R. D.; Vihnanek, R. E.; Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, M. A. **Stereo Photo Series for**

**Quantifying Cerrado Fuel in Central Brazil.** Volume 1, USDA, United State Forest Service (USFS), Universidade de Brasília (UNB), p.76, 2001.

Salby, M. L. The Atmosphere. **In:** Trenberth, K. E. (ed.). Climate System Modeling, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 53-115, 1992.

Seiler, W.; Crutzen, P. J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from Biomass burning. **Clim. Change**, v. 2, p. 207-248, 1980.