

## Estimativas de alterações do albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa em áreas queimadas inferidas através de imagens Landsat

Gabriel Pereira<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Egídio Arai<sup>1</sup>  
Luís Gonçalves Longo de Oliveira<sup>1</sup>  
Nelson Jesus Ferreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{gabriel, bete, nelson, luis, egidio}@ltid.inpe.br

**Abstract.** The main objective of this work is to estimate the greenhouse gases emission from biomass burning in Passo do Lontra - Mato Grosso do Sul (MS) area, through a methodology proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In this context, the albedo and the apparent temperature alterations were analyzed. Then in order to evaluate this method the surface's reflectance of Thematic Mapper (TM) of Landsat 5 satellite transformed to albedo values were compared with the ground measurements. It was observed a significant difference in the albedo values in burned areas that varied from 9 to 13%, as well as in the thermal amplitude that reached 20°C. The greenhouse gases emissions due to biomass burning were estimated as 14.90 Gg of CO, 0.57 Gg of CH<sub>4</sub> and 0.19 Gg of N<sub>2</sub>O.

**Palavras-chave:** Greenhouse gases emission, albedo, biomass burning, emissão de gases do efeito estufa, albedo, queimadas.

### 1. Introdução

A cada ano grandes extensões terrestres sofrem a ação antropogênica e natural das queimadas. Estima-se que mais de 100 milhões de toneladas de aerossóis provenientes da fumaça sejam lançados na atmosfera, dos quais 80% ocorrem em regiões tropicais do globo. O processo de combustão da biomassa libera para a atmosfera gases traços e partículas de aerossóis que afetam significativamente a qualidade do ar, a química troposférica e estratosférica, o balanço de radiação e a dinâmica e microfísica de nuvens (Hao e Liu, 2000).

No Brasil as queimadas antropogênicas estão vinculadas essencialmente às atividades agropecuárias, que apresentam grande variabilidade temporal e espacial. A emissão dos gases oriundos da queima de biomassa libera uma grande quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO), e hidrocarbonetos. Estes gases afetam o ciclo hidrológico, biogeoquímico e contribuem para a modificação do clima local, regional e global (Freitas et al., 2005).

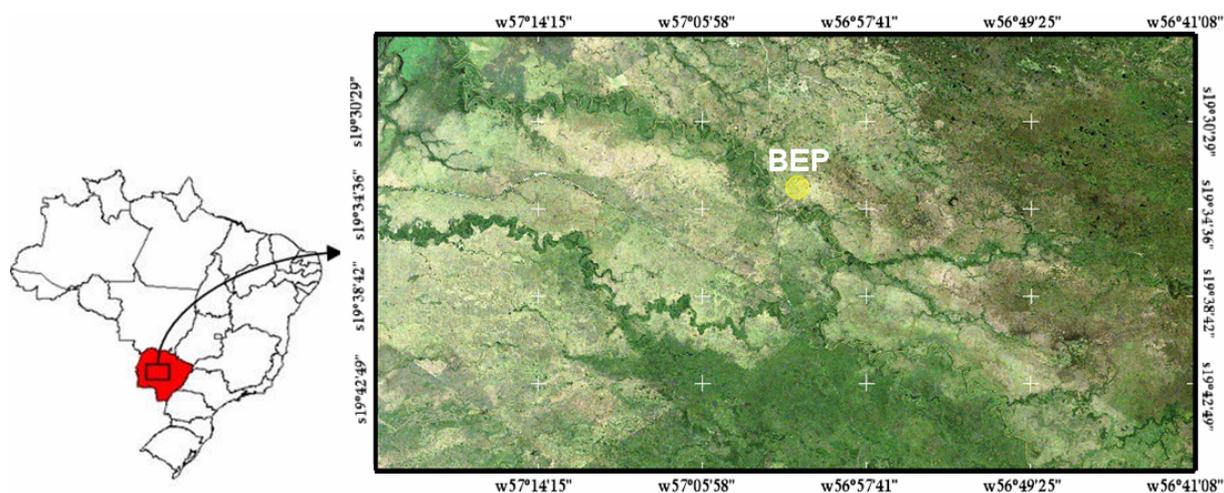
As partículas de fumaça, compostas principalmente por materiais orgânicos oxidados, possuem características físico-químicas que permitem uma eficiente absorção e espalhamento espectral da radiação eletromagnética (REM). As interações desses compostos radiativamente ativos com a REM provocam mudanças significativas no balanço de radiação e, conseqüentemente, na temperatura do planeta. Moraes et al. (2004) demonstraram, através do acoplamento do modelo da radiação de Chou e Suarez (1994 e 1999) a um modelo estatístico-dinâmico com interação atmosfera-biosfera, que as mudanças no balanço radiativo e no clima do planeta provenientes da queima de floresta primária são mais influenciados pelas alterações das características da superfície terrestre e liberação de aerossóis na atmosfera do que pela emissão dos gases do efeito estufa.

O grande impacto ambiental ocasionado pela queima de biomassa através de ações antropogênicas conduz a uma conscientização cada vez maior da sociedade. Inúmeros esforços procuram identificar e quantificar as emissões de gases e, do mesmo modo, criar inventários da quantidade de biomassa queimada anualmente. Neste aspecto, o sensoriamento remoto adquire uma grande aplicabilidade devido à capacidade de análise multiespectral, o formato de saída digital que possibilita uma análise mais eficiente das informações extraídas, a interação entre o sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG) e o custo-benefício proporcionado pelo recobrimento de grandes áreas da superfície terrestre com periodicidade constante (Ichoku e Kaufman, 2005; França e Ferreira, 2005; Wooster et al., 2003; Araújo et al., 1999).

Pretende-se, então, estimar a emissão de gases do efeito estufa provenientes de uma queimada para o região de Passo do Lontra (MS), através da metodologia proposta pelo *Revised 1996 Guidelines of Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1997). O escopo do trabalho consistirá na estimativa, aferição e análise do albedo da superfície queimada, já que o mesmo está diretamente relacionado com as trocas de energia e afetam os regimes radiativos, ocasionando variações na temperatura, modificação no clima local e mudanças no calor latente e sensível, alterando significativamente o balanço energético da atmosfera (Pereira et al., 2000).

## 2. Caracterização e localização da área de estudo

A área estudada abrange a região próxima à Base de Estudo do Pantanal (BEP), pertencente à Universidade Federal do Mato Grosso do Sul e assinalada em amarelo na **Figura 1**, cujas coordenadas são 19°33'48,2"S; 57°00'53,8"W. A base está situada em Passo do Lontra, região Sul do Pantanal, pertencente ao município de Corumbá, MS.



**Figura 1** – Área de Estudo em Passo do Lontra, Corumbá, MS (imagem ETM+/Landsat 7 1B, 2G, 3R do dia 05.06.2000) e perfil sudoeste (A-B).

Na região predomina a vegetação de cerrado, bioma brasileiro caracterizado por possuir formações vegetais que variam de campos abertos até florestas densas que podem atingir 30 metros de altura. A vegetação pode ser estruturada em 5 tipos principais: Cerradão - caracterizado pela formação arbórea com espécies que ocorrem no cerrado e em florestas tropicais; Cerrado *sensu stricto* - composto por uma camada arbórea, com presença de arvoredos, com ramificações irregulares e distorcidas, e gramíneas; Campo Cerrado - vegetação arbóreo-arbustiva com presença de árvores que podem alcançar de 2 a 3 metros; Campo Sujo - composta basicamente por vegetação herbáceo-arbustiva; e Campo Limpo -

predominantemente vegetação herbácea com uma presença muito pequena de arbustos (Eiten, 2001).

### 3. Materiais e Métodos

Para o geoprocessamento das informações utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As imagens utilizadas neste trabalho são provenientes do satélite LANDSAT 5 sensor *Thematic Mapper* (TM), nas datas 11/08/1999, 12/09/1999 e 28/09/1999.

A imagem do sensor *Enhanced Thematic Mapper plus* (ETM+) do satélite Landsat 7, ortorretificada na projeção UTM, *datum* WGS 84, com acurácia média de 75 m (GLCF, 2004), foi utilizada como base para o georreferenciamento das imagens utilizadas neste estudo.

Para a modulação da interferência da atmosfera no sinal coletado pelo sensor, foi utilizado o modelo de transferência radiativa *Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum* (6S). Foram adotadas como condições iniciais a visibilidade de 70 km, o modelo de aerossóis continental e a atmosfera tropical. Todos os casos estudados apresentaram-se livre de nuvens, permitindo assumir como principais efeitos atmosféricos a absorção pelos gases (vapor de água, dióxido de carbono, oxigênio e ozônio) e espalhamento pelas moléculas dos gases atmosféricos.

Para a conversão dos valores físicos de reflectância de superfície de cada banda em albedo, reflectância visível e reflectância no infravermelho solar (IV), utilizaram-se os coeficientes definidos por Liang (2000) para o sensor TM/Landsat 5, que foram ajustados por Pereira et al. (2006) para a região em estudo e representados pelas expressões:

$$Albedo = 0,420\alpha_1 + 0,153\alpha_3 + 0,440\alpha_4 + 0,100\alpha_5 + 0,084\alpha_7 - 0,0018 \quad (1)$$

$$Reflectância_{visível} = 0,564\alpha_1 + 0,417\alpha_2 + 0,306\alpha_3 \quad (2)$$

$$Reflectância_{IV} = 0,755\alpha_4 + 0,231\alpha_5 + 0,126\alpha_7 - 0,003 \quad (3)$$

Os dados radiométricos foram coletados nos dias 12 e 28 de setembro de 1999 em uma torre micrometeorológica na BEP e utilizados como verdade terrestre para avaliar as estimativas de albedo e das reflectâncias nas faixas do visível e do infravermelho solar. Estes dados foram medidos com o piranômetro CM5 da Kipp & Zonen (medidas de radiação solar incidente e refletida) e quantum LI-190SA da Licor Inc. (medidas da radiação fotossinteticamente ativa - PAR).

Para a obtenção da temperatura aparente foi necessária a transformação do sinal digital proveniente do satélite em radiância, a qual foi convertida em temperatura como descrito por Chander e Markhann (2000) pelas fórmulas a seguir:

$$L = \{[(L_{max} - L_{min}) / (NC_{max} - NC_{min})] * (NC - NC_{min})\} + L_{min} \quad (4)$$

$$Temp(^{\circ}C) = \{k_1 / [\ln(k_2 / L) + 1]\} - 273,15 \quad (5)$$

onde  $L_{max}$  e  $L_{min}$  representam, respectivamente, os valores da radiância máxima e mínima escalonados pelo sensor,  $NC_{max}$  e  $NC_{min}$  representam, respectivamente, os níveis de cinza

máximo e mínimo, **NC** representa o nível de cinza de cada pixel da imagem,  $k_1$  (1260,56) e  $k_2$  (607,76) são as constantes de calibração para a banda 6.

Nas estimativas dos gases emitidos pela queima de biomassa utilizou-se a metodologia proposta no *Revised 1996 Guidelines of Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1997). Para se estimar essa quantidade é necessário quantizar a área queimada, a densidade de biomassa, a fração de biomassa acima o solo, a eficiência de queima e o fator de emissão de gases pelas espécies vegetais (Seiler e Crutzen, 1980), como demonstra a formula (6).

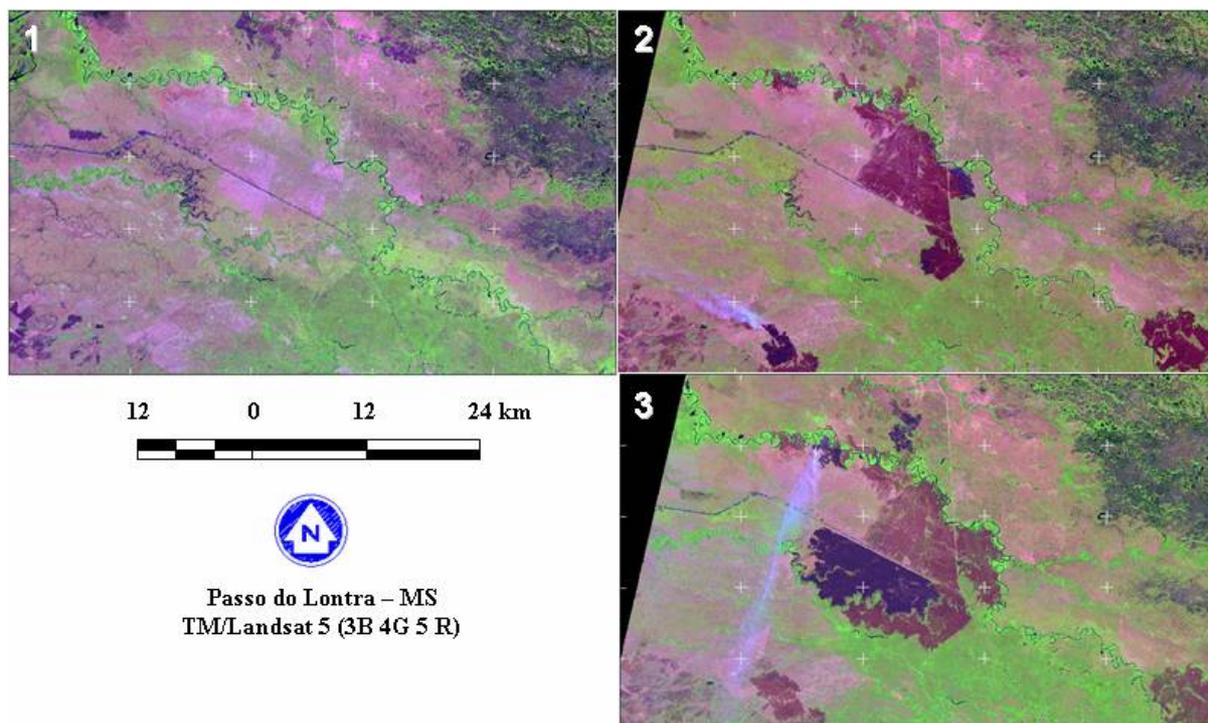
$$M_x = EF_x * A * B * \alpha * \beta \quad (6)$$

Onde  $EF_x$  é o fator de emissão para cada espécie; **A** e **B** representam a área queimada e a densidade de biomassa, respectivamente;  $\alpha$  e  $\beta$  caracterizam a fração de biomassa acima do solo e a eficiência de queima e  $M_x$  é a massa emitida na queima por uma determinada espécie.

No cálculo dos parâmetros da biomassa como densidade, fração eficientemente queimada, fração viva e morta, fração oxidada, fração de carbono, utilizaram-se os valores propostos por MCE (2002). Ao final do processo obteve-se a emissão total do composto em unidades do elemento.

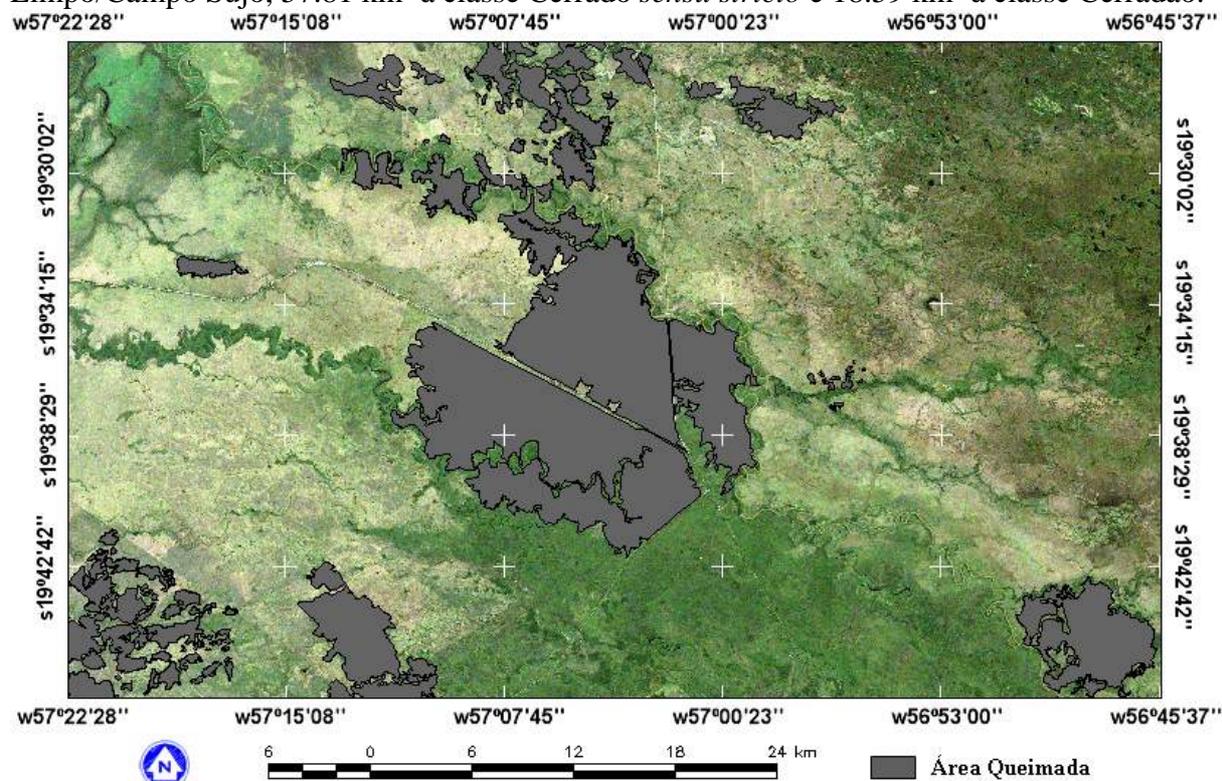
#### 4. Resultados e Discussão

A **Figura 2** mostra as imagens TM/Landsat 5 para as datas de 11/08/1999 (1), 12/09/1999 (2) e 28/09/1999 (3) para a região de Passo do Lontra (MS). Observa-se que grande parte da área queimada ocorreu em regiões onde a vegetação predominante era do tipo Campo Limpo/Campo Sujo, correspondendo a 80,75%. Nas regiões onde havia a predominância da vegetação do tipo Cerrado *sensu stricto* e Cerradão, as áreas queimadas representavam 14,58% e 4,67% respectivamente.



**Figura 2** – Imagens TM/Landsat 5 que demonstram a evolução da área queimada

A estimativa da área queimada para a cena da região estudada, no período de agosto a setembro de 1999, foi de 396.5 km<sup>2</sup> (**Figura 3**), onde 320.01 km<sup>2</sup> pertenciam à classe Campo Limpo/Campo Sujo, 57.81 km<sup>2</sup> à classe Cerrado *sensu stricto* e 18.59 km<sup>2</sup> à classe Cerradão.



**Figura 3** – Área queimada (em cinza) para os meses de agosto e setembro de 1999

Com a área queimada por classes de vegetação, a estimativa da emissão de gases do efeito estufa foi feita de acordo com metodologia do IPCC (1997) prescrita para savanas. Foram utilizados os valores dos parâmetros estimados por MCT (2002) e descritos na **Tabela 1**. Os resultados da emissão total dos compostos foram 0,57 Gg de metano (CH<sub>4</sub>), 14,90 Gg de CO, 0,19 Gg de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e 7,0Gg de NO<sub>x</sub>.

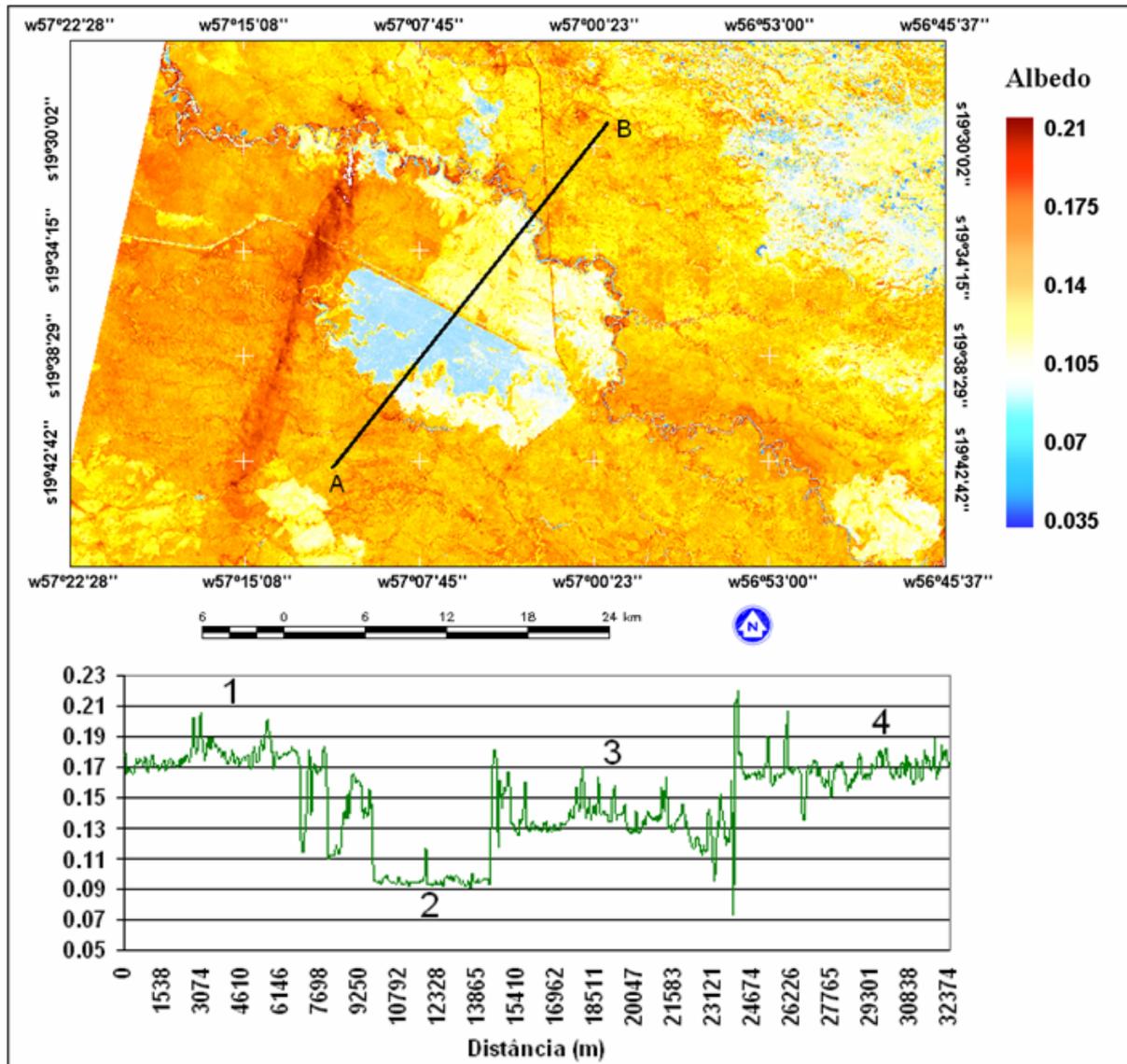
**Tabela 1** – Valores utilizados no cálculo da emissão dos gases

Tipo de Vegetação	Densidade de Biomassa (t/ha)	Eficiência de queima	Fração de biomassa viva (FBV)	FBV oxidada	Carbono BV	Carbono biomassa morta
Campos	7.2	0.95	0.27	0.81	0.45	0.4
Cerrado	9.4	0.89	0.32	0.62	0.45	0.4
Cerradão	7.6	0.80	0.31	0.36	0.45	0.4

Estas estimativas demonstraram que houve um incremento na química da atmosfera, principalmente em relação à emissão dos gases do efeito estufa. Embora boa parte dos compostos emitidos sejam novamente absorvidos para originar novas fisionomias de campos ou cerrado na área queimada, a sucessiva queima de biomassa expõem o solo a processos exaustivos, acarretando a menor absorção de carbono na estruturação da nova vegetação (Ichoku e Kaufman, 2005).

A queima de biomassa provoca mudanças significativas na paisagem, que podem ser analisadas ao se integrar a reflectância em todo o espectro solar (albedo), como mostra a **Figura 4**. O albedo estimado para o dia 28 de novembro de 1999 foi comparado com as

medidas realizadas na BEP em horário próximo a passagem do satélite. Nesta comparação foram verificadas subestimativas da ordem de 3.5%. Todos os erros encontrados estão dentro da faixa de acurácia do instrumento e da conversão dos dados de reflectância de superfície das bandas multiespectrais para albedo.

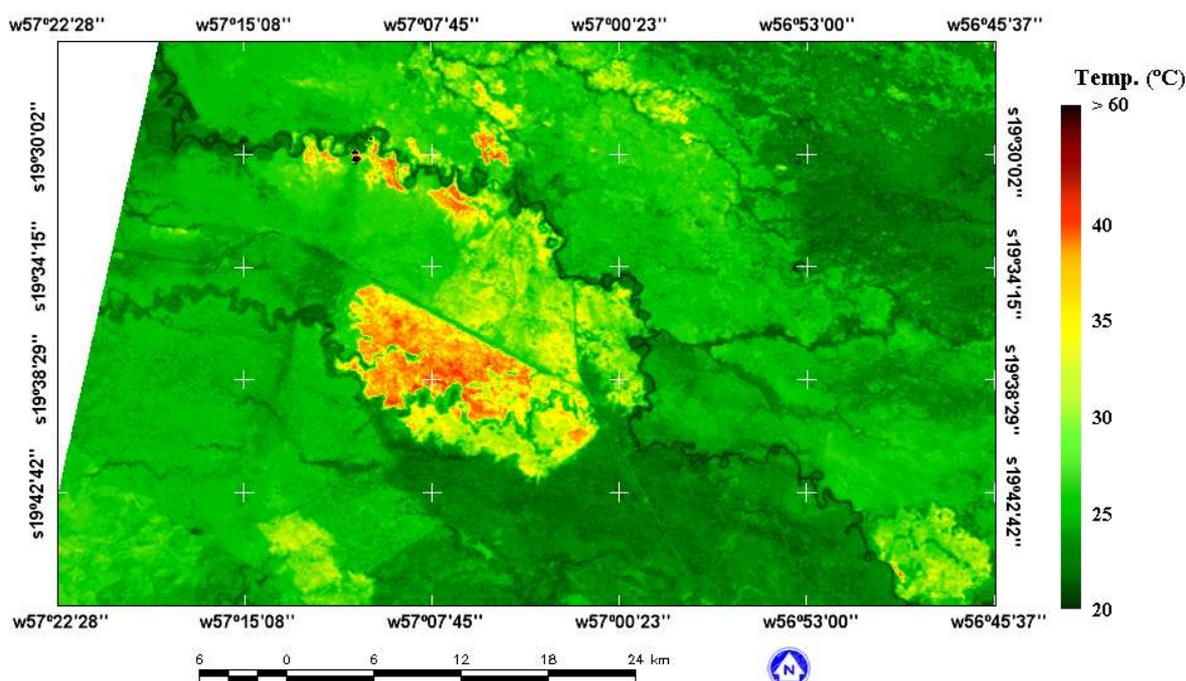


**Figura 4** – Albedo estimado através das bandas do TM/Landsat 5 para 28 de setembro de 1999 e perfil sudoeste A-B

A **Figura 4** mostra que a queimada alterou significativamente o albedo da superfície. Para superfícies predominantemente compostas de campo limpo e campo sujo o albedo médio foi de 17% (1 e 4) e com a queima da biomassa o albedo da área variou de 9% a 13%. Esses valores permitiram inferir se a queimada foi recente ou ocorreu em outros períodos. Para queimadas recentes o albedo médio foi de 9,3% (2) e para cicatrizes de queimadas foi de aproximadamente 13%.

A variação no albedo da superfície queimada modifica a interação da REM com a superfície e, conseqüentemente, altera o balanço de radiação e as trocas de energia da superfície. Avaliando a **Figura 5**, que apresenta uma imagem de temperatura aparente

estimada para o dia 28 de setembro de 1999, verificou-se que nas áreas onde ocorreram queimadas houve uma redução do albedo e um aumento em sua temperatura.



**Figura 4** – Temperatura aparente para Passo do Lontra (MS) no dia 28/09/1999 13:23Z

É notável a amplitude térmica na região que fora recentemente queimada. Nestas, os valores de temperatura alcançaram 42°C, enquanto que nas regiões de cicatrizes de queimada a temperatura variou de 30 a 33°C. Estes valores apresentaram grande amplitude, já que em regiões onde a vegetação não foi impactada pela queimada, os valores de temperatura variaram de 23 a 28°C. Essas alterações na temperatura aparente ocasionaram modificações na circulação local dos ventos, nas trocas de energia, nos fluxos de calor latente e sensível, na evapotranspiração, na temperatura do ar e, conseqüentemente, modificaram o clima local.

## 5. Considerações Finais

O método proposto por Liang (2000) se mostrou muito eficiente na estimativa dos valores de albedo quando comparados com medidas realizadas em campo. A estimativa desta variável através de imagens de satélite é de fundamental importância para a modelagem do tempo e clima, visto a escassez da rede solarimétrica brasileira e mundial.

Neste estudo pode-se comparar as alterações que ocorreram no albedo e na temperatura em diferentes superfícies alteradas pela queima de biomassa e estimar a quantidade de emissão de gases do efeito estufa provenientes destas áreas. Isto permitiu a distinção entre queimadas recente e cicatrizes de queimada.

Constatou-se que a alteração do albedo da superfície e a emissão de gases do efeito estufa modificaram significativamente o balanço de radiação e as trocas de energia, criando um forte desequilíbrio ambiental, modificando, desta forma, o clima local.

## Agradecimentos

A Dra. Regina Célia Alvalá pela ajuda na coleta das informações sobre a área de estudo e pelos dados cedidos para a realização deste trabalho, ao Dr. Flávio Jorge Ponzoni e Dr. Yosio Edemir Shimabukuro pelo ajuda e sugestões realizadas.

## Referências

- Araújo, T. M.; Carvalho Jr., J. A.; Higuchi, N.; Brasil Jr., A. C. P.; Mesquita, A. L. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the state of Pará, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 1991-1998, 1999.
- Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003
- Eiten, George. Vegetação natural do Distrito Federal. Brasília: SEBRAE/DF, 2001.
- França, D. A.; Ferreira, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais 2005, 2005.
- Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Dias, M. A. F. S.; Dias, P. I. S.; Chatfield, R., Prins, E.; Artaxo, P.; Grell, G. A.; Recuero, F. S. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South América. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 5, p. 135-167, 2005.
- GLCF. Geocover Technical Guide. Produced by University of Maryland/USA, 2004. Disponível em: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/>. Acesso em: 10/09/2006.
- Hao, W. M. and M-H. Liu. Spatial and temporal distribution of biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 8, p. 495-503, 2000.
- 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.
- IPCC, OECD, IEA. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook. Bracknell, UK, 2000.
- Liang, S., Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213-238, 2000.
- 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.; Rao, B. Effects of biomass burning in Amozonia on climate: A numerical experiment with a statistical-dynamical model. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, D05109. doi:10.1029/2003JD003800, 2004.
- Moraes, E. C.; Franchito, S. H.; Rao, B. Evaluation of surface air temperature change due to the greenhouse gases increase with a statistical-dynamical model. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, D24109, doi:10.1029/2004JD005679, 2005.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Abreu, S.L., Couto,P., Stuhlmann, R. & Colle, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. **Solar Energy**, v. 68, n. 1, p. 91-107, 2000.
- Pereira, G.; Moraes, E.C.; Arai, E.; Oliveira, L.G.L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. In: 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Campo Grande, MS, 11 a 15 de novembro de 2006.
- 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.
- Vermote, E. F; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.
- Wooster, M. J.; Zhukov, B.; Oertel, D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from de BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 83-107, 2003.