



CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL DO REGIME DE FOGO NA PAISAGEM DA BACIA DO PRATA UTILIZANDO DIFERENTES PRODUTOS DE TELEDETECÇÃO DE QUEIMADAS.

N. F. Murad¹

R. Stockmann¹; G. P. Ramires¹; J. P. R. A. D. Barbosa¹; A. M. Soares¹

1 - Universidade Federal de Lavras, Departamento de Biologia, Laboratório de Ecofisiologia, Campus da UFLA, 37200 - 000, Lavras, Minas Gerais, Brasil. Telefone: 55 35 3829 - 1351-fnatialiam@gmail.com

INTRODUÇÃO

A emissão de quantidades excessivas de gases de efeito estufa por atividades antrópicas iniciou - se há pelo menos 150 anos, com a Revolução Industrial, através da queima de combustíveis fósseis e de mudanças em larga escala no uso da terra, resultando na conversão da vegetação natural em plantações, pastagens, áreas urbanas ou degradadas (IPCC, 2007). Como resultado, tem - se registrado a elevação das temperaturas médias da atmosfera e dos oceanos, com efeito sobre o sistema terrestre em diferentes escalas: da regional a global.

Tais modificações da paisagem natural são causa e consequência das alterações climáticas, uma vez que surgem de interações complexas entre sistemas ambientais e socioeconômicos ao mesmo tempo em que exercem resposta de feedback sobre o clima, num ciclo de retro - alimentação. Um bom exemplo disso é a ocorrência de fogo, que, segundo alguns autores, é função das condições climáticas e de ações antropogênicas sobre a paisagem, bem como é um agente causador de alterações no sistema climático regional. Esse ciclo de ocorrência e recorrência de incêndios em um mesmo local, ao longo do tempo, pode ser chamado de regime de fogo.

Globalmente, o regime de fogo é considerado um dos maiores agentes perturbadores que fazem parte dos ecossistemas naturais. Bowman *et al.*, (2009) estimaram que a emissão de CO₂ causada por queimadas em florestas contribuem com aproximadamente 19% do aumento total da força radiativa desde o início da Revolução Industrial. Entre 1997 e 2001, a queima de biomassa contribuiu para 2/3 da taxa de crescimento da quantidade de CO₂ atmosférico (Werf *et al.*, 004). A história do fogo no planeta está intimamente ligada com a existência de plantas terrestres e distribuição dos ecossistemas. Na América do Sul, as grandes queimadas são mais frequentes nos biomas de Cerrado, Caatinga, Pampa e Pantanal, sendo um componente importante da dinâmica do Cerrado, como ressaltado por Franco *et al.*, (2005) e Durigan & Ratter (2006). Segundo Pivello (2009), isso ocorre

devido à distribuição esparsa das árvores e dos elementos lenhosos, que permite a chegada da insolação no nível do sub - bosque e promove o acúmulo de biomassa no estrato herbáceo, que se torna um material inflamável na época da seca.

Alterações no regime normal de fogo, devido a alterações climáticas e forçantes antropogênicas, podem alterar os estoques de carbono, desequilibrar processos atmosféricos, hidrológicos e ciclos biogeoquímicos, além da possibilidade de causar perda de material genético vegetal e animal. A estrutura da vegetação também pode sofrer modificações devido a alterações do regime de fogo, resultando num aumento da população de espécies tolerantes a queimadas recorrentes. Essas perturbações no meio ambiente tendem a reduzir os serviços que os ecossistemas fazem em favor da humanidade (serviços de regulação, de manutenção, de abastecimento e de cultura).

A região da Bacia do Prata (RBP), reúne partes de 5 países da América do Sul: Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai. Possui grande importância econômica, além de ser fonte de biodiversidade e alimentos para este continente. A paisagem é agrícola, sendo que os pequenos agricultores ocupam quase metade de sua extensão (40%). Os principais produtos são arroz, café, laranja, soja, milho, trigo, cana de açúcar, algodão, látex e carne. A região conta com cinco biomas únicos: a Mata Atlântica, o Cerrado, a Pampa, o Chacco e o Pantanal, sendo que quatro desses biomas sofrem anualmente com a ocorrência de fogo. Devido a sua importância, alterações nos padrões da ocorrência no regime de fogo podem impactar o sistema climático, hidrológico, os ecossistemas naturais e agrícolas da região, com efeitos sobre o sistema terrestre e a sociedade.

Através desse estudo pretende - se contribuir para o conhecimento dos efeitos antrópicos e climáticos sobre a ocorrência de focos de incêndio e suas consequências para a fragmentação de paisagem e exposição da vegetação à paisagem do fogo. Essas informações são importantes para parametrizar modelos de funcionamento de ecossistemas

e modelos climáticos regionais, bem como para subsidiar políticas ambientais e ações de mitigação que visem reduzir a vulnerabilidade da RBP às mudanças globais.

OBJETIVOS

- i) Construir bases de dados de focos de incêndio a partir de produtos de teledetecção disponíveis para RBP;
- ii) Intercomparar as bases de dados buscando semelhanças e discrepâncias espaço - temporais;
- iii) Caracterizar os padrões espaço - temporais do regime de fogo na RBP.

MATERIAL E MÉTODOS

A verificação de dados de focos de incêndio na RBP foi realizada buscando - se produtos de sensoriamento remoto para a detecção de focos de incêndio disponíveis nas agências espaciais norte - americana National Aeronautics and Space Administration (NASA - <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>), brasileira Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CEPTEC - <http://www.cptec.inpe.br/>) e européia European Space Agency (ESA - <http://www.atrs.rl.ac.uk/>). Foi encontrado um total de 11 produtos disponíveis para a RBP, contudo, desses foram selecionados apenas aqueles com disponibilidade temporal de junho de 2002 a outubro de 2008. Os produtos que atendiam a esse critério foram AQUA, TERRA, ATSR, TRMM e NOAA. Como o satélite NOAA - 12 saiu de atividade em agosto de 2007 e o NOAA - 17 começou sua atividade em julho de 2005, seus produtos foram incorporados em um único, e analisados como NOAA. Durante o período em que apenas um deles se encontrava em atividade, prevaleceu o valor do satélite ativo, e quando os dois se encontravam em atividade, foi feita a média do número de focos detectados.

Entre estes produtos, NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), ATSR (Along Track Scanning Radiometer), TERRA e AQUA são sensores radiométricos de alta precisão, os quais fornecem medidas precisas da intensidade do campo eletromagnético da área estudada. Os satélites TERRA e AQUA trabalham em conjunto, em órbitas sobrepostas, com diferentes horários de passagem. O satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) possui órbita oblíqua não - heliossincrona bastante baixa, permitindo resoluções espaço - temporais bem elevadas.

As bases de dados foram filtradas de modo que abrangessem a área da Bacia do Prata compreendida entre as longitudes - 19^o, - 45^o, e latitudes - 65^o e - 45^o. Após a seleção das bases de dados dos cinco produtos, procedeu - se a sua intercomparação espaço - temporal. Essa comparação teve como base a quantificação do número de focos de queimadas por uma unidade de tempo num dado ponto. As análises foram realizadas no período de observação (2002 - 2008), em uma resolução temporal mensal e espacial de 1^o (100 km²).

Devido às diferenças de sensores, algoritmos de detecção e órbitas, os dados dos diferentes produtos foram normalizados pelo máximo de focos observados em uma célula durante o período experimental (NFI), definido pela fórmula:

$$NFI = [F_{ij} \times (F_{maxj}) - 1]$$

Onde F_{ij} é a frequência de fogo num dado tempo (i), numa célula (j) e F_{maxj} é a frequência máxima de fogo observada numa célula (j) no período de análise.

Essas operações foram realizadas através de um algoritmo desenvolvido em planilha eletrônica. A correlação espaço - temporal entre os produtos foi realizada pelo coeficiente de correlação r, sendo considerado significativo pelo teste f a 5% de significância.

Foram elaborados mapas do regime de fogo detectado por cada produto analisado, para se verificar os padrões espaciais de ocorrência de incêndios, com auxílio do software Surfer (Surface Mapping System version 8.04, Golden Software Inc, Golden Colorado, USA). A distribuição temporal foi realizada por gráficos de evolução nas escalas anual e mensal.

RESULTADOS

De maneira geral, os padrões espaço - temporais de regime de fogo não apresentaram grandes discrepâncias entre os produtos analisados e durante o período de observação. O coeficiente de correlação (r) apresentou valores significativos pelo teste f para todas as intercomparações. Os menores valores de r foram observados para TRMM e NOAA (0,765) e os maiores para TERRA e ATSR (0,940). Algumas similaridades entre os produtos de teledetecção de queimadas para a América do Sul foram registradas no trabalho de Barbosa (2008). Contudo, esse autor observou que a base de dados TRMM não apresentou boa representação do regime de fogo no norte da Bacia do Prata em relação ao NOAA e ATSR pois detectou menos focos de incêndio comparado a esses. A análise dos padrões espaciais do regime de fogo na área de estudo, durante o período de observação, indicaram que a distribuição de fogo na Bacia do Prata não foi homogênea, mas houve uma maior tendência de concentração de focos de incêndio na parte norte (Norte do Paraguai e centro do Brasil) e também na parte centro - oeste (Norte da Argentina) espalhando - se em direção ao leste e sudoeste. Esses padrões podem estar associados aos padrões de uso do solo, características climáticas e fatores antropogênicos influenciando ignições como ressaltado por outros estudos realizados com regime de fogo na América do Sul (Bucini & Lambin (2002); Roman - Cuesta *et al.*, (2003); Di Bella *et al.*, (2006)).

Quando comparados aos mapas de cobertura vegetal, os mapas de NFI indicam que as áreas com maior concentração de focos de incêndio estão associadas a áreas de agricultura e/ou pecuária, cerrado e florestas estacionais decíduas. A ocorrência de fogo no centro sul do Brasil está provavelmente associada à prática de queimadas para renovação e limpeza de áreas agrícolas, bem como na colheita da cana de açúcar, como constatado por Roman - Cuesta *et al.*, (2003) e Garrigues *et al.*, (2008). Na região de floresta estacional decídua a causa das queimadas pode ser o fato das plantas perderem suas folhas na época da seca, produzindo então materiais propícios à ignição.

Com relação aos padrões temporais, os satélites TERRA, ATSR e TRMM apresentaram pico de incidência no ano de 2007, AQUA em 2005 e NOAA em 2004. Observou -

se a ocorrência de fogo concentrada ao final do inverno austral, que se estende de Agosto até início de Outubro. Nesses meses mais de 75% da quantidade anual de queimada foi observada. Isso pode ser atribuído ao fato de que nesse período as condições climáticas são caracterizadas por solo seco e aumento da temperatura. Geralmente, na estação chuvosa (novembro a março), há uma baixa densidade de focos de queimada. Quando se aproxima o mês de junho, a incidência começa a aumentar até atingir um valor máximo em agosto. A partir de outubro, com o início época chuvosa, o número de focos começa a diminuir, atingindo os menores valores em fevereiro. Isso indica que a queda na precipitação e o aumento na temperatura têm um efeito positivo no acréscimo de incêndios na transição entre a estação seca e chuvosa. Além disso, os efeitos das anomalias climáticas efeito no número anual de incêndios. Durante eventos de El Niño, é possível observar maior quantidade de fogo em relação aos anos sem El Niño. Essas observações são confirmadas por outros trabalhos sobre regime de fogo na América do Sul, dentre eles Bucini & Lambin (2002); Roman - Cuesta *et al.*, (2003); Di Bella *et al.*, (2006) e Barbosa (2008).

CONCLUSÃO

As queimadas na Bacia do Prata são um componente importante da paisagem da região. Apesar da ocorrência de fogo poder ser de origem natural ou antropogênica, não foi possível diferenciar as causas de ignição através das técnicas utilizadas. Para a compreensão das ignições naturais é necessário maiores esforços no sentido de estudar os processos naturais que contribuem para esse fenômeno, o que deverá ser realizado, agrupando - se dados de regime de fogo a dados de cobertura da vegetação, clima e influência antrópica. Contudo, há indícios que a maioria dos incêndios detectados nesse estudo é antropogênica, surgindo em sua maioria, das práticas utilizadas na limpeza de novas áreas para implantação de pastagens ou culturas ou para a manutenção de áreas agrícolas já existentes.

Esses incêndios ocorrem especialmente no final da época seca e início da época chuvosa de cada ano, o que caracteriza a estação de queimadas na RBP. Nessa época do ano, têm - se condições favoráveis para a propagação de incêndios de áreas agrícolas para áreas de vegetação natural, como umidade relativa baixa, elevadas temperaturas, vento e acúmulo de matéria seca como combustível. Isso torna os focos de incêndio de origem antrópica uma grande ameaça aos ecossistemas naturais, uma vez que seu controle exige precisão e responsabilidade bem como técnicas adequadas de manejo e de vigilância. Políticas de proteção ambiental e de uso

racional do fogo devem ser implantadas para permitir uma maior proteção de áreas com maior recorrência dessa perturbação.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, J. P. R. A. D. 2008.** Vulnerability of the Minas Gerais landscape to global changes: an initial step to a bottom - up approach. 193p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Lavras.
- Bond, W. J.; Woodward, F. I.; Midgley, G. F. 2005.** The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, Cambridge, v. 165, n. 2, p. 525-538.
- Bowman, D. M. J. S. ; Balch, J. K. ; Artaxo, P.; Bond, W. J.; Carlson, J. M.; Cochrane, M. A.; D'Antonio, C. M.; DeFries R. S.; Doyle, J. C.; Harrison, S. P. *et al.*, 2009.** Fire in the Earth System. *Abril, Science*, v. 324, n. 5926, p. 481 - 484.
- Bucinni, G.; Lambin, E. F. 2002.** Fire impacts on vegetation in Central Africa: a remote - sensing - based statistical analysis. *Applied Geography*, v. 22, p. 27-48.
- Di Bella, C. M.; Jobbágy, E. G.; Paruelo, J. M.; Pinnock, S. 2006.** Continental fire density patterns in South America. *Global Ecology and Biogeography*, v. 15, p. 192 - 199.
- Durigan, G.; Ratter, J. A. 2007.** Successional changes in cerrado and cerrado/forest ecotonal vegetation in Western SP state, Brazil, 1962 - 2000. *Global Change Biology*, Oxford, v. 13, n. 6, p. 1157 - 1167, Junho.
- Franco, A. C.; Bustamante, M.; Caldas, L. S.; Goldstein, G.; Meinzer, F. C.; Kozovits, A. R.; Rundel, P.; Coradin, V. T. R. 2005.** Leaf Functional traits of neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees*. Victoria, v. 19, n.3, p. 326 - 335, Maio.
- Garrigues, S.; Allard, D.; Baret, F. 2008.** Modeling temporal changes in surface spatial heterogeneity over an agricultural site. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 588 - 602.
- IPCC, Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas. 2007.** Novos cenários climáticos. Paris, França.
- Pivello, V. R. 2009.** O cerrado e o fogo. *ComCiência, Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*. LABJOR/SBPC, Fevereiro.
- Román - Cuesta, R. M.; Gracia, M.; Retana, J. 2003.** Environmental and human factors influencing fire trends in enso and non - enso years in tropical Mexico. *Ecological Applications*, v. 13, p.1177-1192.