

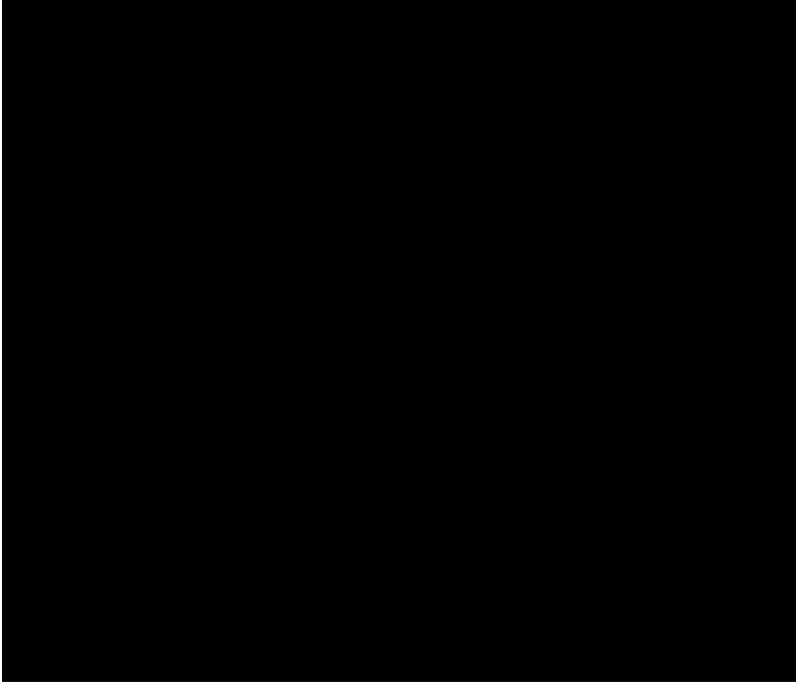
Curso Uso Escolar do Sensoriamento Remoto para estudo Meio Ambiente



**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO
AO ESTUDO DAS QUEIMADAS**

Guilherme Mataveli

Queimadas



Emissão de aerossóis associados às queimadas
(fumaça verde).

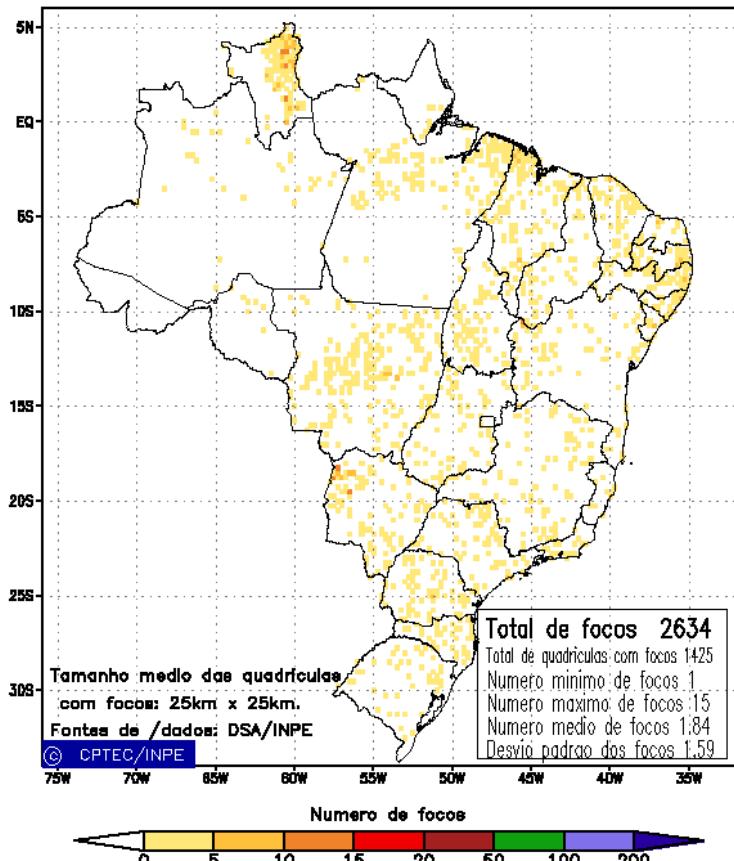
Fonte: NASA (2015).

Cerca de 90% das queimadas são de origem antrópica (ANDREAE e MERLET, 2001), e estima-se que entre 3547 e 3938 teragramas (Tg) de matéria seca são consumidas anualmente por queimadas antrópicas (LAUK e ERB, 2009)



Queimadas no Brasil

Focos de Queima
Acumulado de Janeiro de 2014
Satelite de Referencia: AQUA_M-T



Acumulado mensal de focos detectados pelo satélite de referência no Brasil em 2014.
Fonte: INPE (2015)

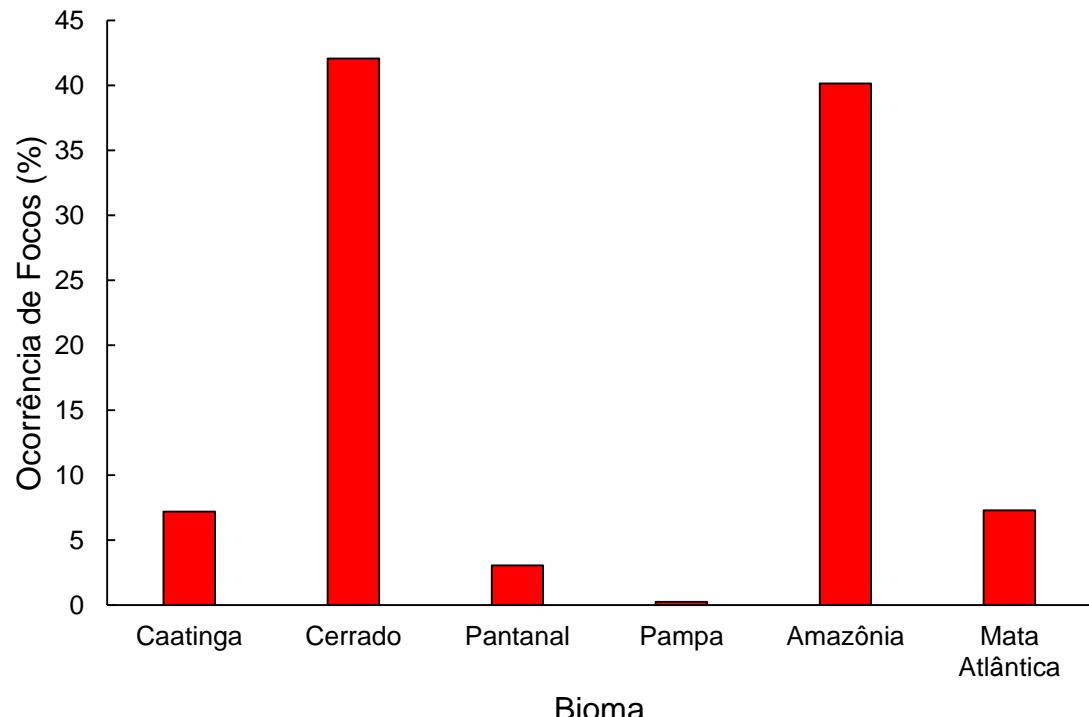
- Ocorrência natural
- Atividades agropecuárias
- Mudança no uso e cobertura da terra

Queimadas no Brasil

- 2.339.708 focos detectados pelo sensor MODIS no período 2008-2015

Biomas	Total de Focos
Caatinga	168.276
Cerrado	984.402
Pantanal	71.526
Pampa	5638
Amazônia	939.117
Mata Atlântica	170.749

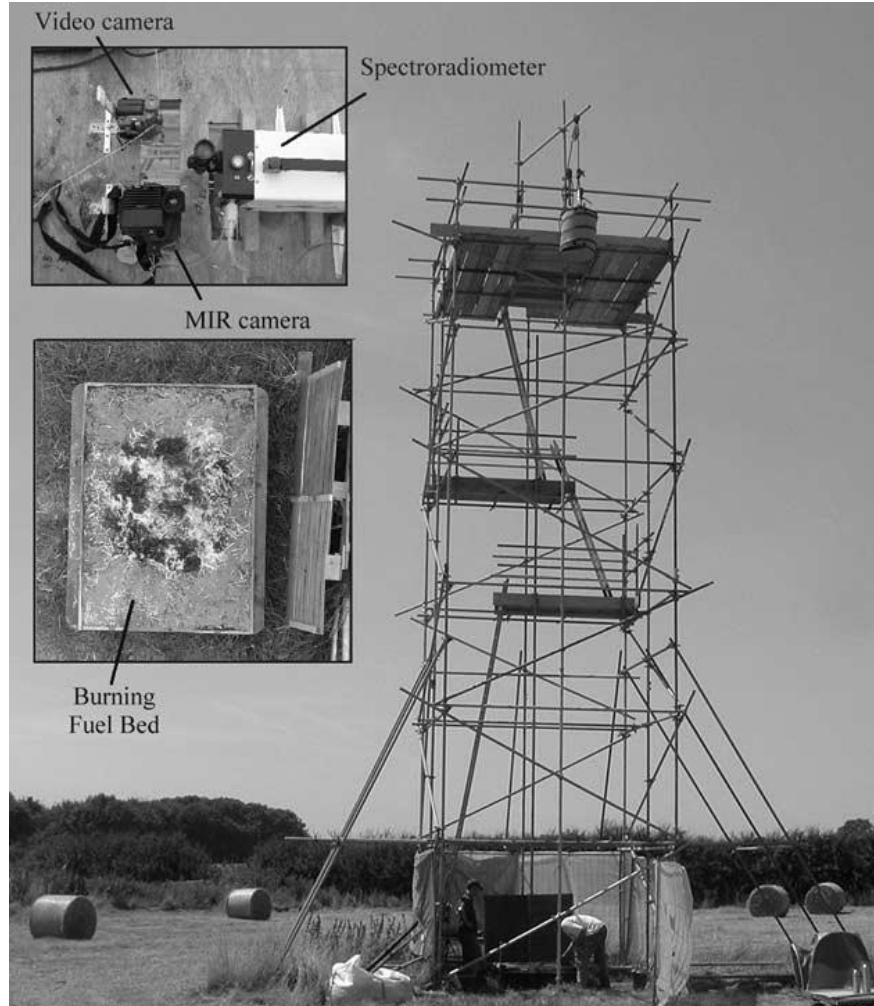
Total de focos detectados pelo sensor MODIS nos biomas brasileiros para o período 2008-2015.



Porcentagem de focos detectados pelo sensor MODIS nos biomas brasileiros para o período 2008-2015.

Estudos sobre as queimadas

- Realizados a partir de experimentos e medições *in situ* (ANDREAE e MERLET, 2001)
- Não permitem entender o fenômeno por completo
- Uso do sensoriamento remoto orbital a partir da década de 1970
- Capacidade de aquisição de dados de forma global e sistemática (ICHOKU et al., 2012)



Fonte: Wooster et al. (2005)

Principais sensores utilizados na detecção de focos

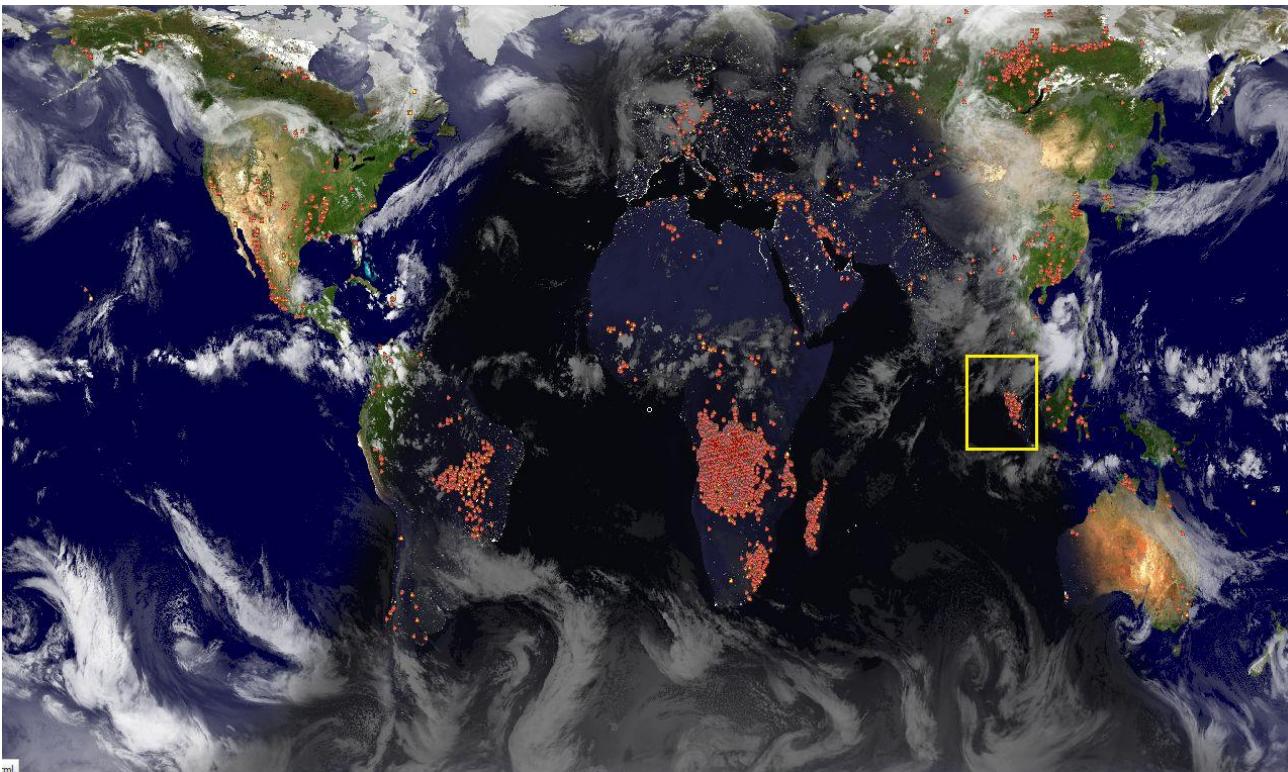


Imagen dos focos detectados pelo MODIS em 20/06/2013 às 22:35 GMT

- Sensor MODIS
- MOD14 e o MYD14
- Órbita polar
- Resolução espacial de 1 km
- 4 passagens diárias sobre um mesmo ponto da superfície

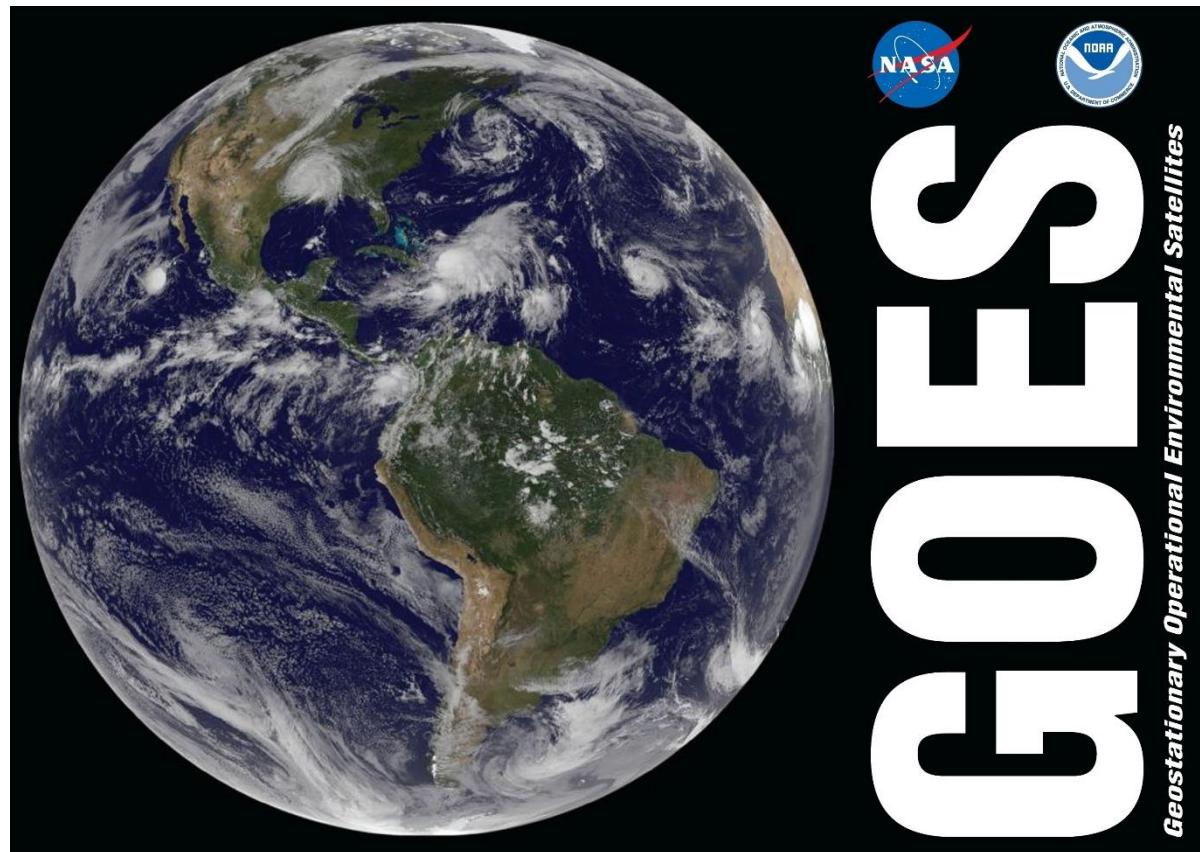
Principais sensores utilizados na detecção de focos



Área imageada pelo sensor SEVIRI

- Sensor SEVIRI
- FRP-PIXEL
- Órbita geoestacionária
- Resolução espacial média de 6 km para o Brasil
- Obtêm dados a cada 15 minutos

Principais sensores utilizados na detecção de focos

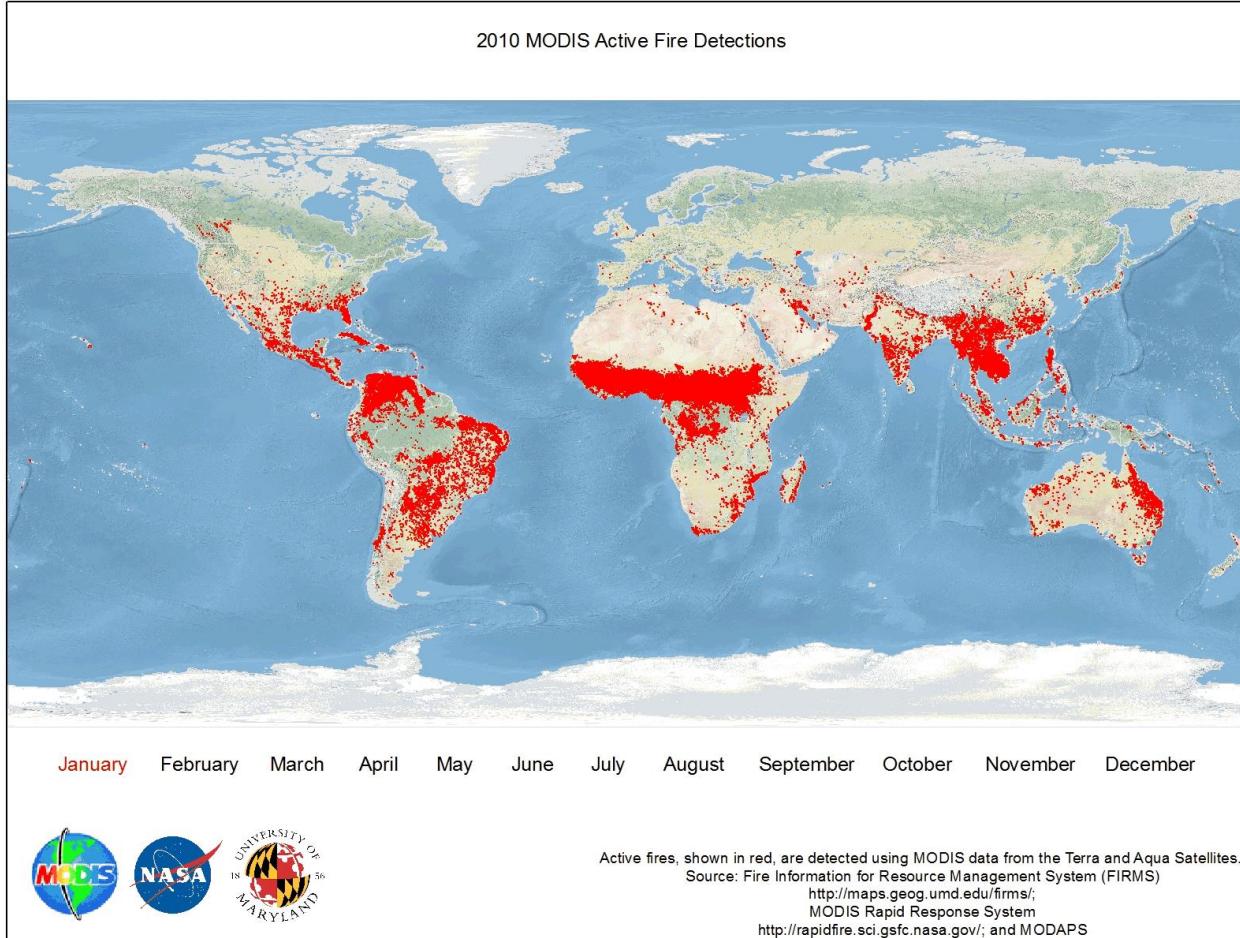


Área imageada pelo sensor *Goes Imager*

- Sensor *GOES Imager*
- WFABBA
- Órbita geoestacionária
- Resolução espacial de 4 km
- Obtêm dados a cada 15 minutos

Sensoriamento remoto aplicado às queimadas

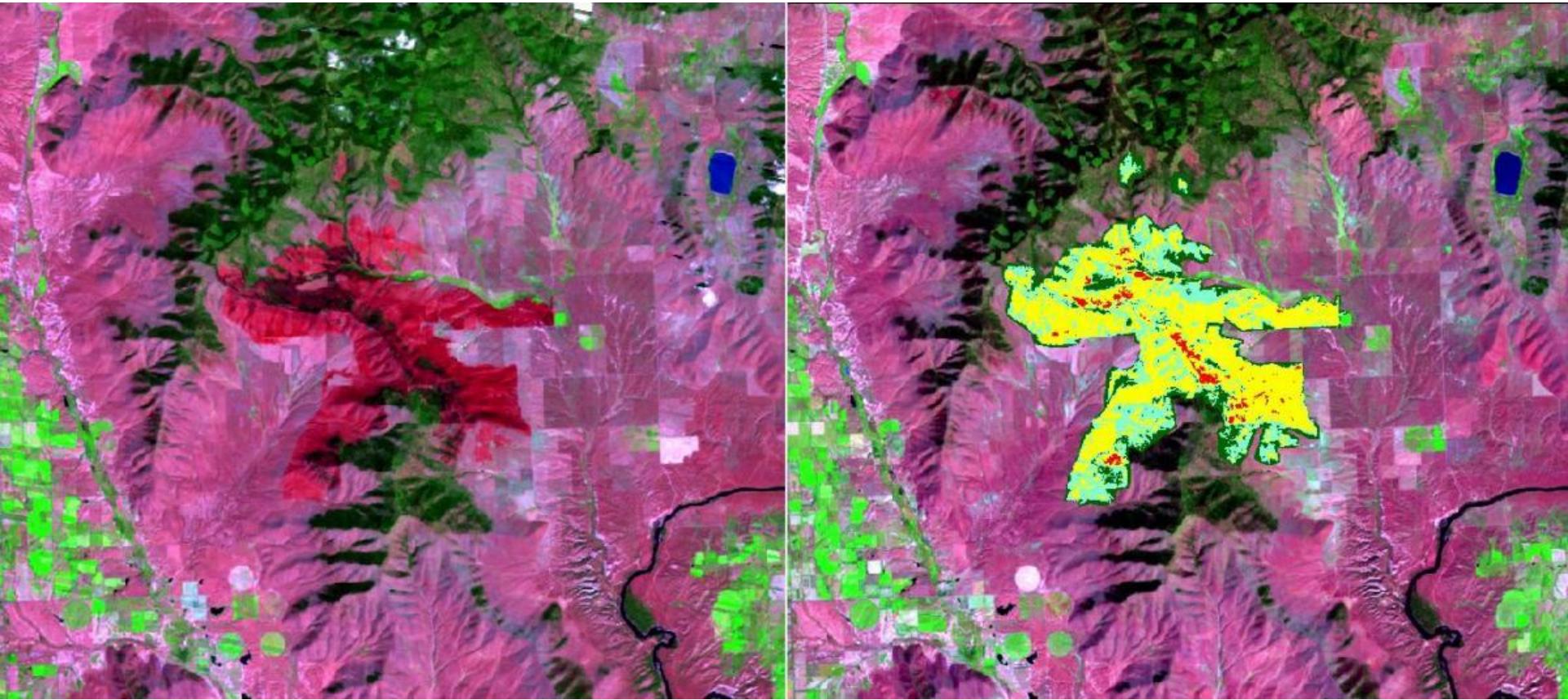
Distribuição espacial e temporal dos focos de queimada



Focos mensais detectados pelo sensor MODIS no ano de 2010

Sensoriamento remoto aplicado às queimadas

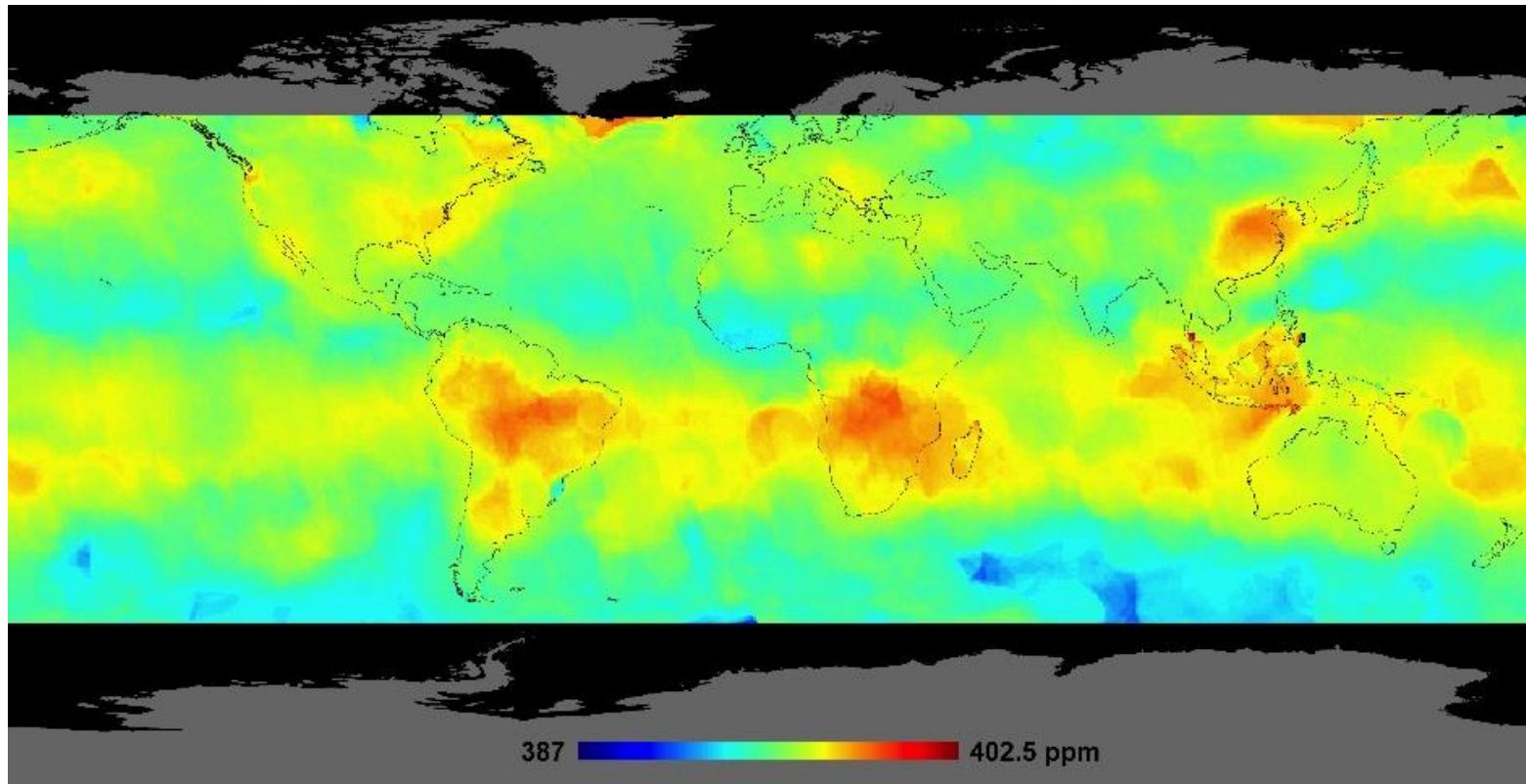
Mapeamento e estimativa da área queimada



Área queimada detectada pelo sensor OLI/Landsat-8 após um incêndio florestal

Sensoriamento remoto aplicado às queimadas

Estimativa da biomassa queimada e emissões

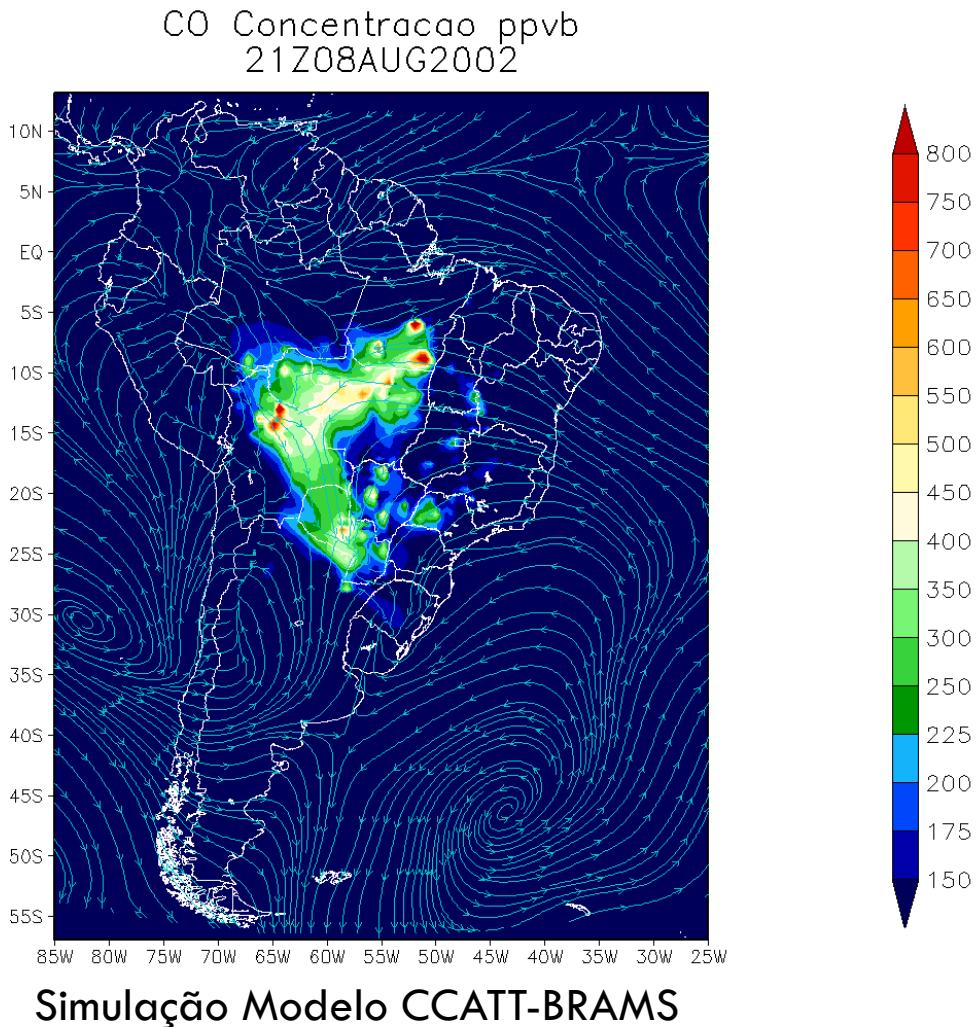


Estimativa da concentração de CO₂ emitido pela queima de biomassa em novembro de 2011.
Fonte: NASA (2015)

Sensoriamento remoto aplicado às queimadas

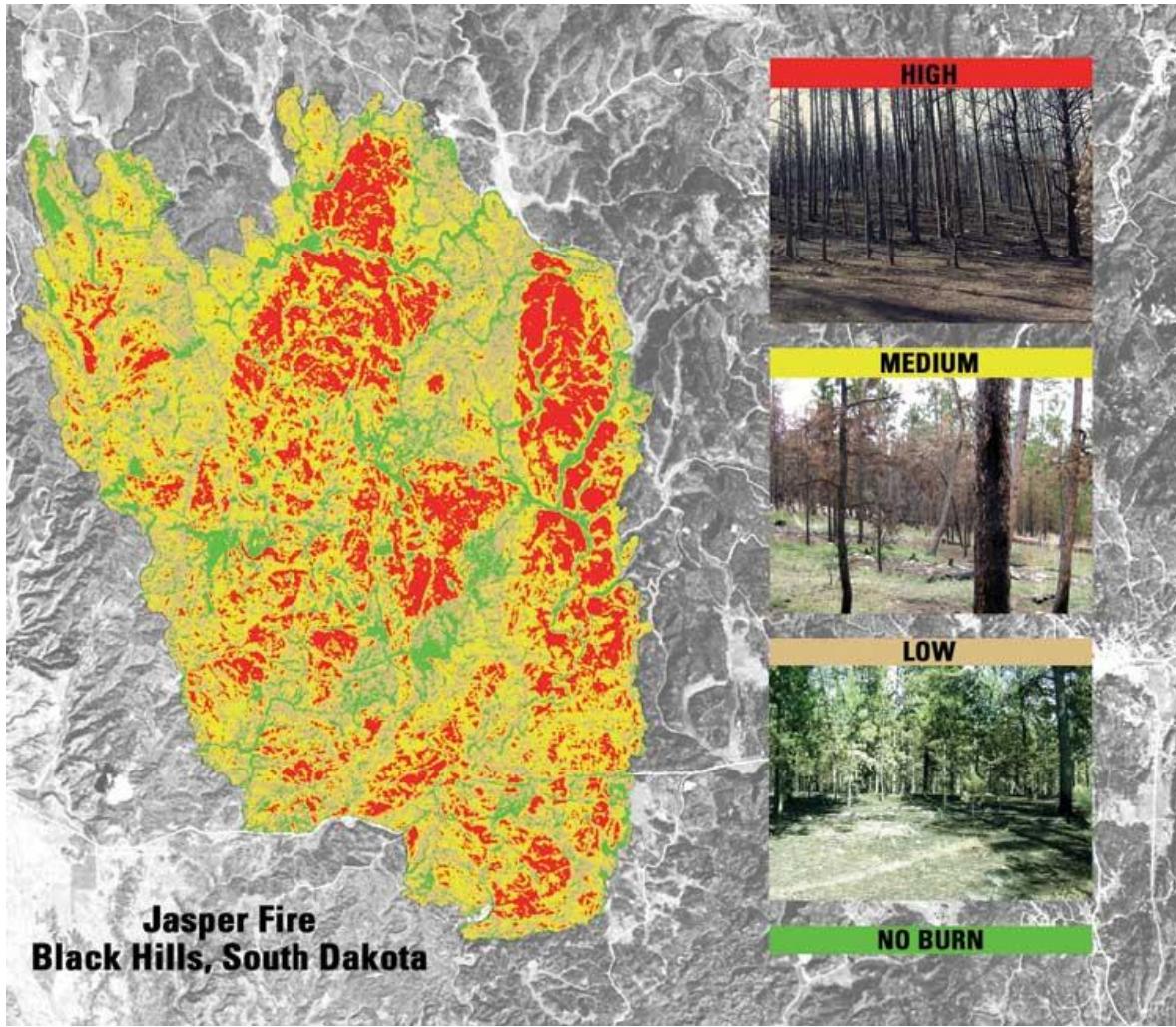
Modelagem Climática

- A estimativa das emissões associadas à queima de biomassa constitui uma importante fonte de dados de entrada em modelos numéricos, tornando possível avaliar o impacto das emissões sobre as variáveis meteorológicas e o clima (XU et al., 2010)
- Modelos de Transporte
- Modelos Regionais e Globais do Clima



Sensoriamento remoto aplicado às queimadas

Severidade do fogo

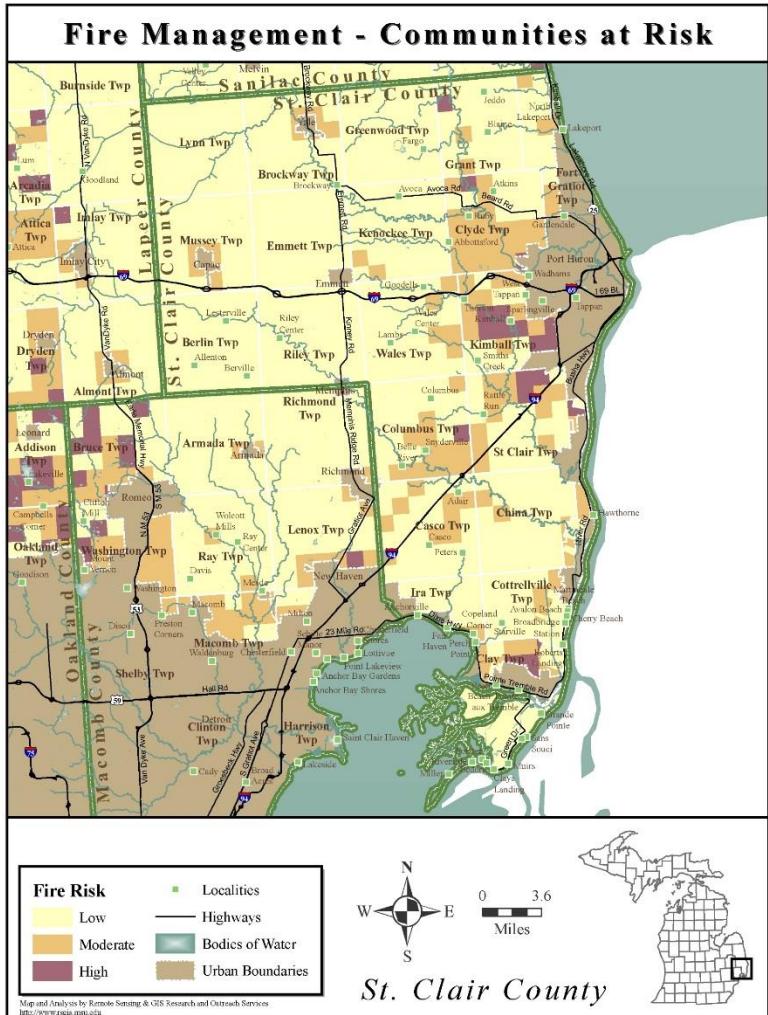


- O tempo que a vegetação demora para voltar ao seu estágio anterior à queima depende da intensidade do fogo

Mapeamento da severidade do fogo após um incêndio florestal em South Dakota, USA.

Sensoriamento remoto aplicado às queimadas

Risco de fogo



- Monitoramento sobre o risco de fogo
- Uso de dados meteorológicos
- Emissão de alertas sobre o risco de fogo

Mapa do risco de fogo para Saint Clair County, Michigan, USA

Métodos para estimar a biomassa queimada

- Método Tradicional, baseado na área queimada (SEILER E CRUTZEN, 1980):

$$BB = B_a * B_d * \alpha$$

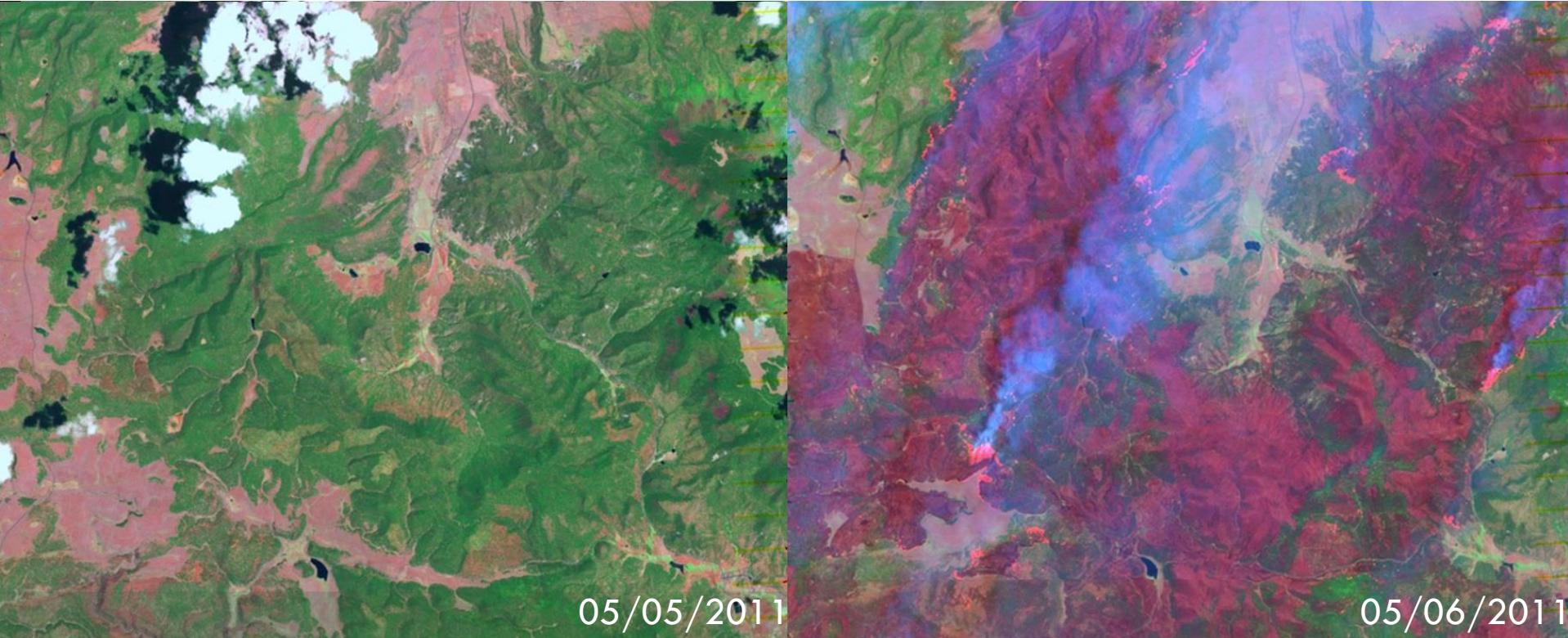
- em que BB é a quantidade de biomassa queimada (kg), B_a é a área queimada (km^2), B_d é a biomassa disponível para queima (kg km^{-2}) e α é o fator de combustão



Fonte: Ichoku et al. (2008)

Imagen MODIS em cor real de uma cena com queimada

Métodos para estimar a biomassa queimada



- Produtos de área queimada apresentam baixa acurácia
- MCD45A1: Omissão de mais 90% para a Amazônia (CARDOZO et al., 2011; CARDOZO et al., 2012)
- Métodos alternativos para estimar a biomassa queimada (ANDREAE e MERLET, 2001)

Métodos para estimar a biomassa queimada

- Método mais utilizado para estimar a biomassa quemada e suas emissões é derivado da Potência Radiativa do Fogo (FRP) (VERMOTE et al., 2009)
- Baseia-se em Wooster (2002), que testou as relações entre a FRP e a biomassa queimada em um experimento de combustão em pequena escala
- FRP: taxa na qual energia é emitida pelo fogo na forma de radiação durante queimada (WOOSTER et al., 2003)



Métodos para estimar a biomassa queimada

$$BB = FRP * \beta$$

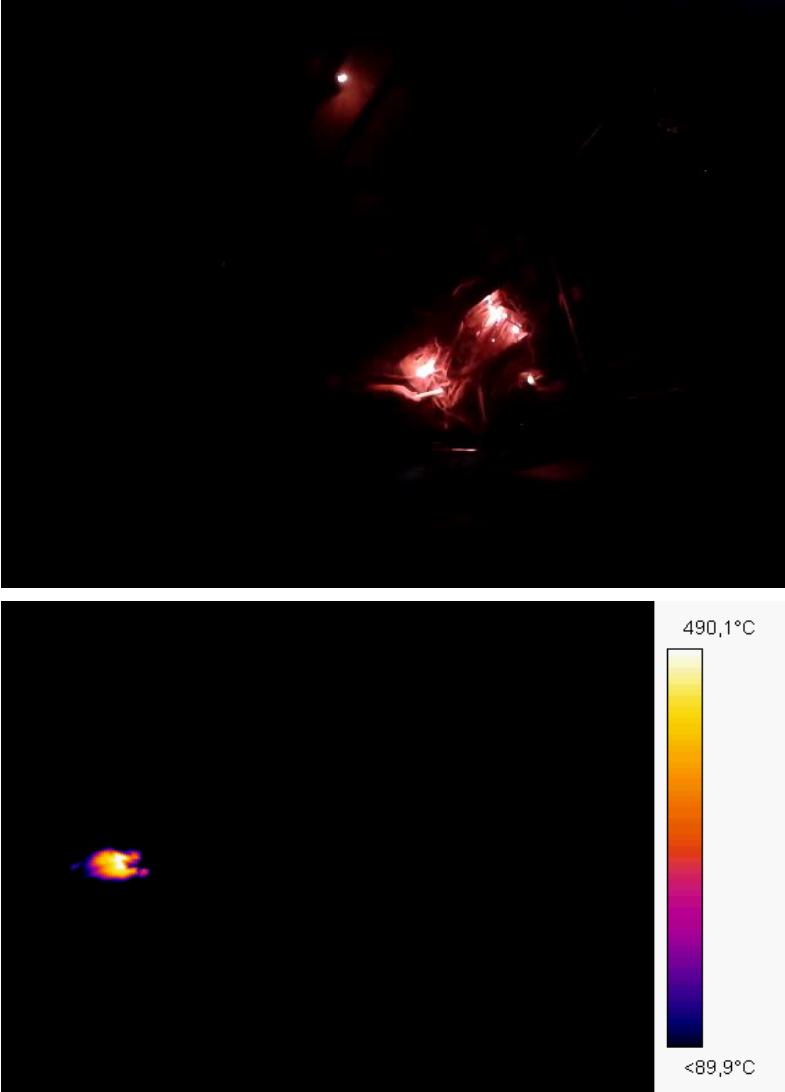
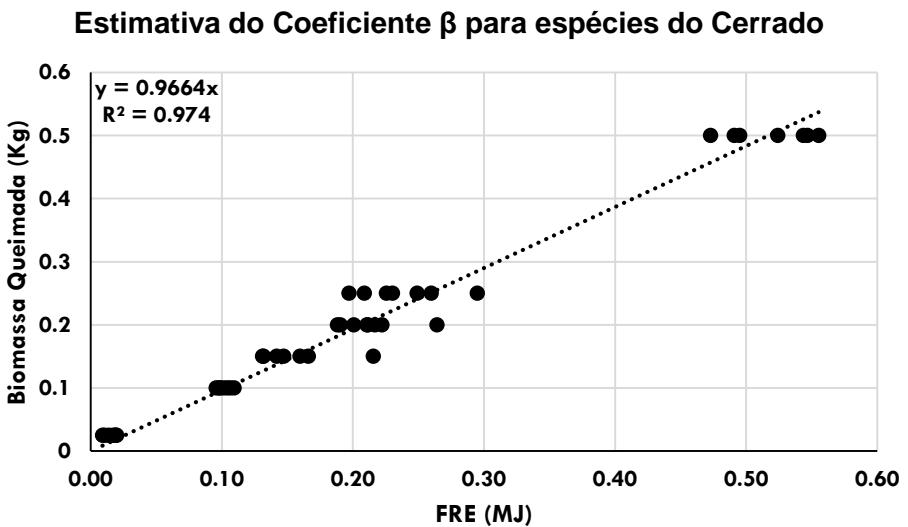
em que FRP representa a potência radiativa do fogo (MW), BB a biomassa queimada (kg) e β o coeficiente que relaciona a FRP e a biomassa queimada (kg MW^{-1})

- FRP disponível nos principais produtos de fogo ativo: MOD14, MYD14, WFABBA e FRP-PIXEL



Experimento de combustão em pequena escala

- Experimentos de combustão em pequena escala para estimar β (WOOSTER et al. 2005; FREEBORN et al. 2008, PEREIRA et al 2012)
- Coeficiente se encontra disponível em literatura para todo o globo, estimado para todos os ecossistemas terrestres com o uso de modelagem por Ichoku e Ellison (2014)
- Método apresenta boa concordância com estimativas obtidas em campo, com desempenho melhor que metodologias que utilizam a área queimada, como é o caso método tradicional (ROBERTS et al., 2005)

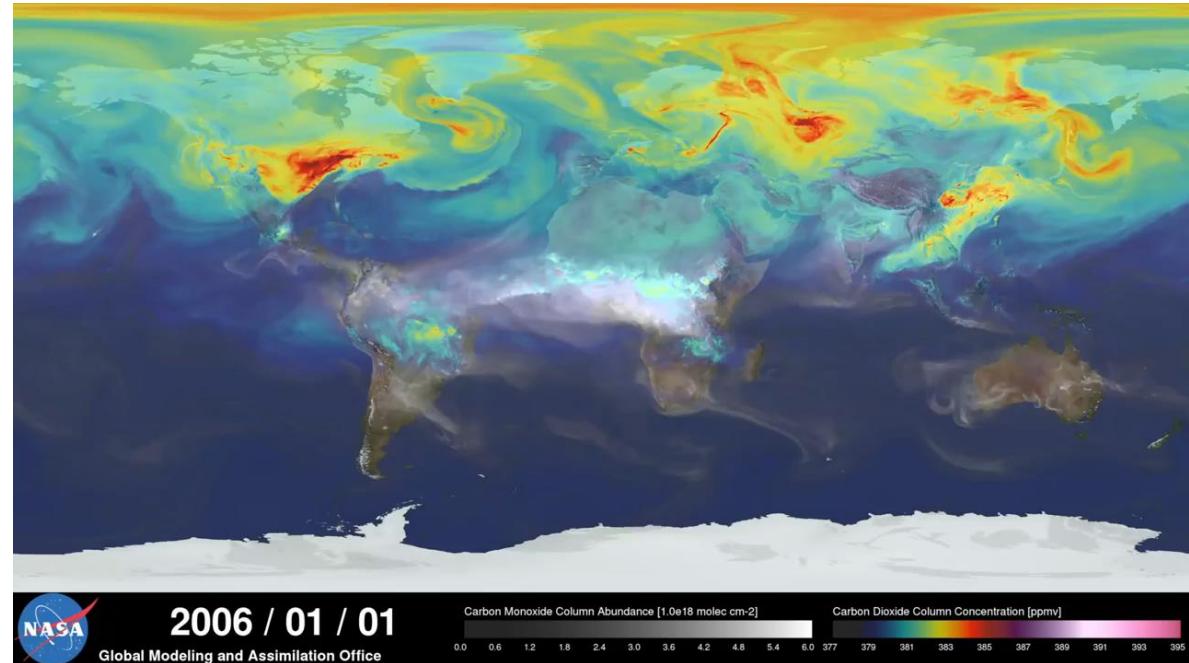


Estimativa das Emissões

$$M^{[E]} = FE^{[E]} * BB$$

em que $M^{[E]}$ é a massa emitida pela espécie E (g), $FE^{[E]}$ é o fator de emissão para a espécie E (g kg^{-1}) e BB é a biomassa queimada (kg)

- Fatores de emissão associados aos diferentes usos da terra disponíveis no *Brazilian Biomass Burning Emissions Model* (3BEM) (LONGO et al., 2010)
- Nova versão do modelo: 3BEM_FRP



Emissões globais de CO₂ em 2006. Fonte: Nasa (2015)

Validação das estimativas de biomassa queimada

- Embora as estimativas do total de biomassa queimada a partir de dados orbitais tenham aumentado consideravelmente na última década, as incertezas nos dados de entrada e as distintas metodologias utilizadas podem gerar erros significantes, que podem chegar a 50% (VERMOTE et al., 2009)
- Uma alternativa para validar os inventários é o uso de inventários de área queimada, uma vez que a biomassa queimada e suas emissões estimadas a partir do mapeamento manual da área queimada apresentam um custo relativamente baixo e proporcionam validar as estimativas obtidas em toda a área de estudo analisada (CARDOZO et al., 2015)

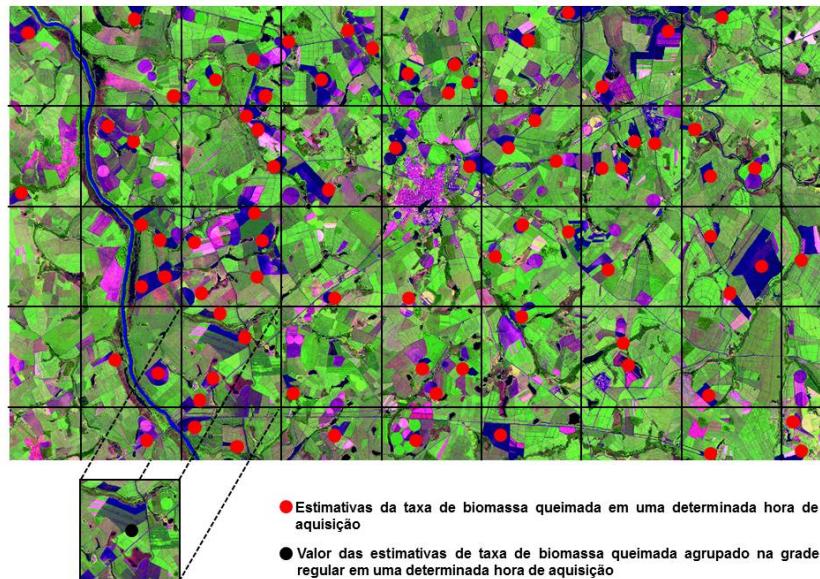


Trabalho de campo realizado em Diamantina-MG

Exemplo de Aplicação

- Agrupamento da TBQ em uma grade regular (TBQ_{ag}) de 8 km:

$$TBQ_{ag(lon, lat, t)} = \sum_{\gamma=-\alpha}^{\alpha} \sum_{\kappa=-\beta}^{\beta} \eta(\gamma, \kappa) \xi(lon + \gamma, lat + \kappa, t)$$



- Integração da TBQ_{ag} para cada célula da grade regular, a partir do horário de aquisição dos dados, gerando a biomassa queimada (BQ):

$$BQ_{(lon, lat)} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (TBQ_{ag_n} + TBQ_{ag_{n+1}}) \cdot (t_{n+1} - t_n)$$

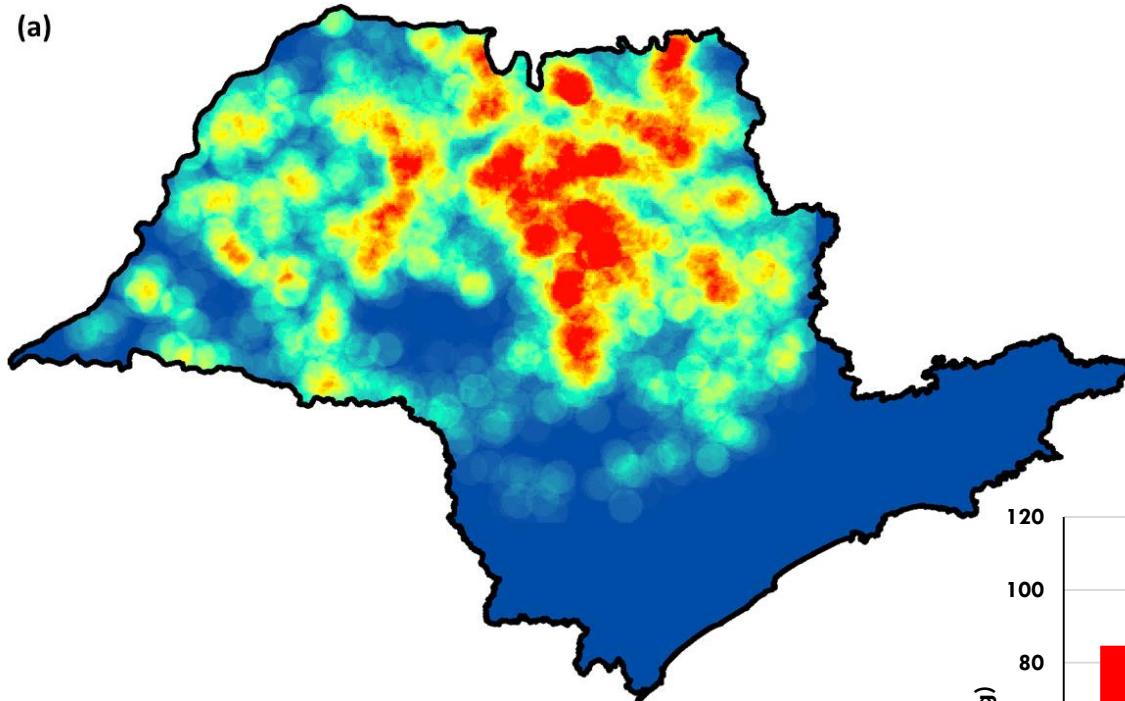
- Determinação da massa total de CO₂ emitida ($M^{[E]}$) a partir do fator de emissão ($FE^{[E]}$) específico para a queima da cana-de-açúcar:

$$M^{[E]} = \boxed{FE^{[E]}} * BB$$

→ França et al. (2013)

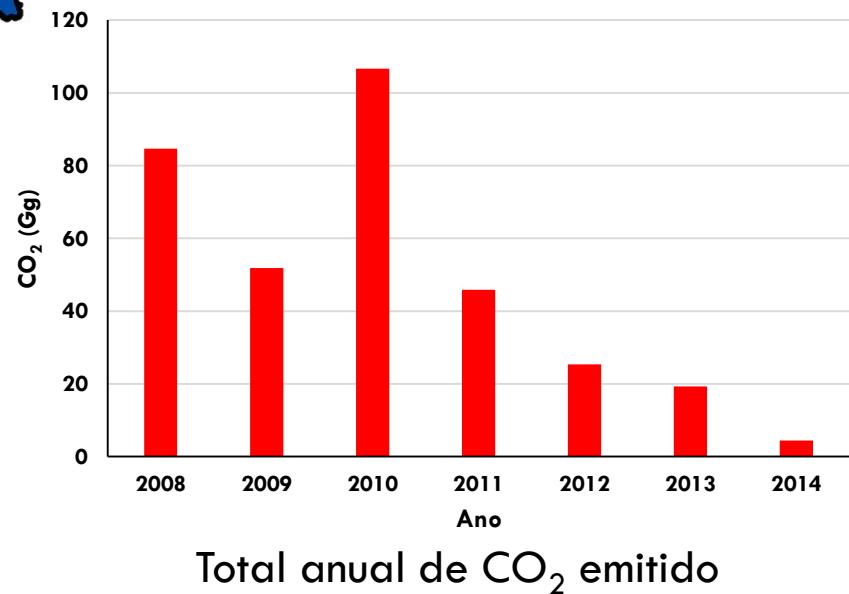
Exemplo de Aplicação

(a)



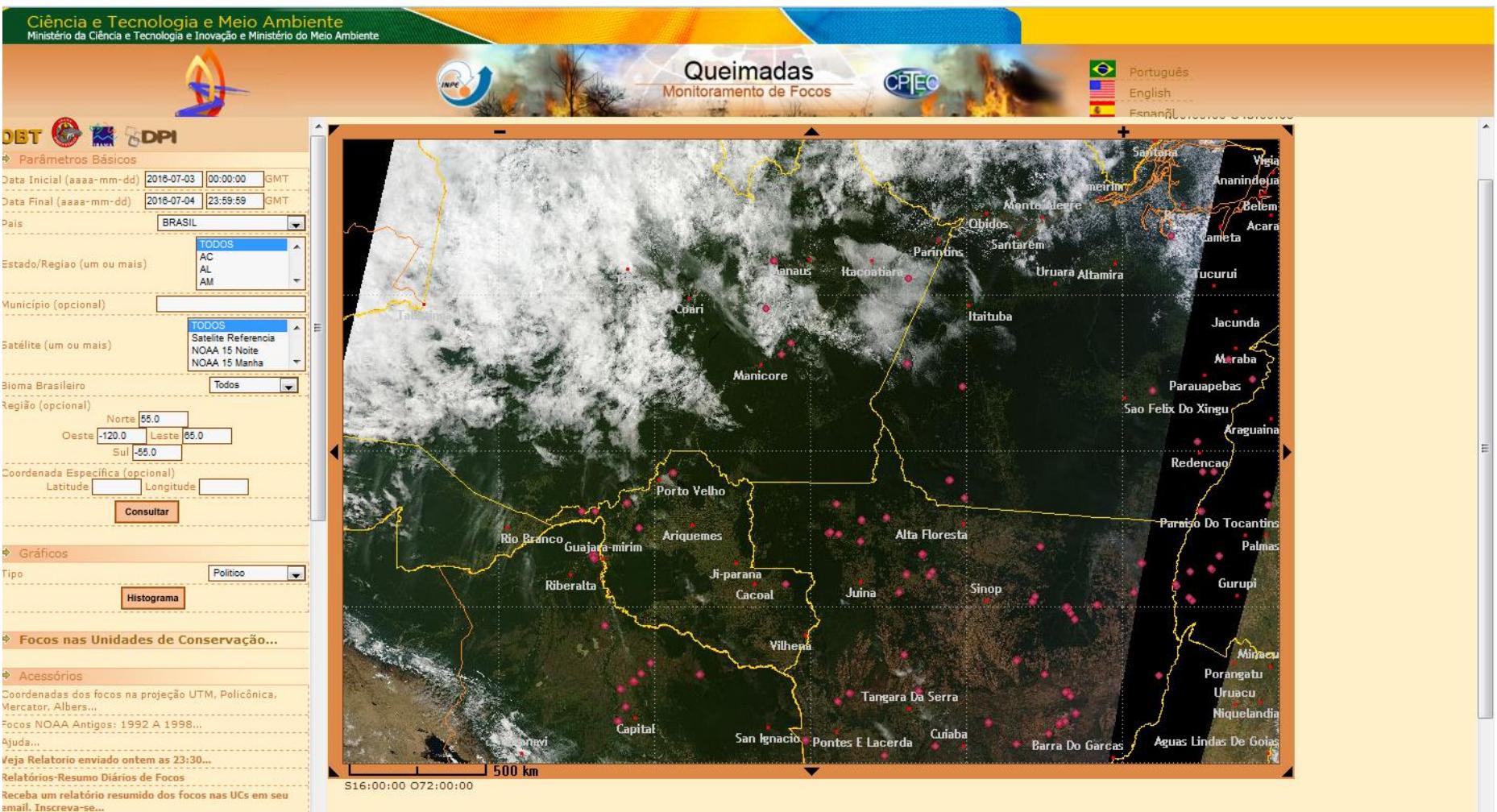
Total anual de biomassa queimada no período
2008-2014

- (a) 2008
- (b) 2009
- (c) 2010
- (d) 2011
- (e) 2012
- (f) 2013
- (g) 2014



Onde obter dados?

Banco de Queimadas do INPE (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>)



Referências Bibliográficas

- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemistry Cycles**, v. 4, n.15, p. 955-966, 2001.
- CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E. ; MORAES, E. C. **Validation of MODIS MCD45A1 product to identify burned areas in acre state - amazon forest**. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2012, Munique. Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2012. p. 6741-6744.
- CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; LIMA, A.; COURAS, S. M. C.; SHIMABUKURO, Y. E. **Evaluation of MODIS MCD45A1 product to identify burned areas in amazon tropical forest**. In: Regional Geographic conference (UGI 2011) of the International Geographic Union (IGU), 2011, Santiago - Chile. Proceedings of the Regional Geographic Conference (UGI 2011), 2011. p. 9-19.
- FREEBORN, P. H.; WOOSTER, M. J.; HAO, W. M.; RYAN, C. A.; NORDGREN, B. L.; BAKER, S. P.; ICHOKU, C. Relationships between energy release, fuel mass loss, and trace gas and aerosol emissions during laboratory biomass fires. **Journal of Geophysical Research**, v.113, n.D1, 2008.
- ICHOKU, C.; GIGLIO, L.; WOOSTER, M. J.; REMER, L. A. Global characterization of biomass-burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n.6, p. 2950-2962, 2008.
- ICHOKU, C.; KAHN, R.; CHIN, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. **Atmospheric Research**, v.111, p. 1-28, 2012.
- ICHOKU, C.; ELLISON, L. Global top-down smoke-aerosol emissions estimation using satellite fire radiative power measurements. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14, n.1, p. 6643-6667, 2014.
- LAUK, C.; ERB, K. H. Biomass consumed in anthropogenic vegetation fires: Global patterns and processes. **Ecological Economics**, v.69, n.2, p. 301-309, 2009.
- PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C.; FREITAS, S. R. Estimativa da área de fogo ativo a partir da potência radiativa do fogo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.64, n.4, p. 419-428, 2012
- ROBERTS, G.; WOOSTER, M. J.; PERRY, W.; DRAKE, N. Retrieval of biomass combustion rates and totals form fire radiative power observations: application to southern Africa using geostationary SEVIRI imagery. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. 1, p. 1-19, 2005.
- SEILER, W.; CRUTZEN, P.J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climate Change**, vol. 2, n. 1, p. 207–248, 1980.
- VERMOTE, E.; ELLICOTT, E.; DUBOVIK, O.; LAPIONOK, T.; CHIN, M.; GIGLIO, L.; ROBERTS, G.J. An approach to estimate global biomass burning emissions of organic and black carbon from MODIS fire radiative power. **Journal of Geophysical Research**, v.114, n.D18, p. 1984-2012, 2009.
- WOOSTER, M. J. Small-scale experimental testing of fire radiative energy for quantifying mass combusted in natural vegetation fires. **Geophysical Research Letters**, v.29, n.21, p. 23-1-23-4, 2002.
- WOOSTER, M. J.; ZHUKOV, B.; OERTEL, D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v.86, n.1, p. 83-107, 2003.
- WOOSTER, M. J.; ROBERTS, G.; PERRY, G.; KAUFMAN, Y. J. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release. **Journal of Geophysical Research**, v.110, n.D24, p. 83-107, 2005.

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO ESTUDO DAS QUEIMADAS



OBRIGADO!

Guilherme Mataveli (mataveli@usp.br)