

Uso da Potência Radiativa do Fogo para estimar a biomassa queimada e as emissões de CO₂ associadas à queimada pré-colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo

Guilherme Augusto Verola Mataveli¹

Gabriel Pereira²

Bruno Silva Oliveira¹

Elisabete Caria Moraes¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mataveli, bruno.so, bete}@dsr.inpe.br

² Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ
Caixa Postal 110 - 36361-360 - São João del Rei - MG, Brasil
pereira@ufs.edu.br

Abstract. Biomass burning affects large areas around the planet and has an important role in the Earth system due to the release of greenhouse gases such as CO₂ into the atmosphere, being observed an increasing in these emissions over the last decades due to human action. However, some initiatives were proposed to reduce greenhouse gases emissions from biomass burning, for example, Green Ethanol Protocol, which proposes the end of sugarcane pre-harvest burning in São Paulo State - Brazil, making important to quantify the effectiveness of these proposals and their impacts on the environment. In this context, this study aims to quantify biomass burning and CO₂ emissions due to sugarcane pre-harvest burning in São Paulo State between 2010 and 2013 using the methodology based on Fire Radiative Power (FRP). The results show a significant decrease in the estimates obtained between 2010 and 2013, such as total annual CO₂ emitted in 2013 was 82% lower than the total annual CO₂ emitted in 2010, showing that Green Ethanol Protocol presents positive results in reducing sugarcane pre-harvest burning.

Palavras-chave: biomass burning, greenhouse gases, fire radiative power, sugarcane, queima de biomassa, gases do efeito estufa, potência radiativa do fogo, cana-de-açúcar.

1. Introdução

A queima de biomassa é uma importante fonte de emissão de aerossóis e gases traços para a atmosfera, influenciando, dessa forma, o clima, principalmente em escala regional, além de ser um fator introdutório de mudanças na paisagem local e regional, sendo, portanto, importante quantificá-la a fim de compreender seus impactos nos diferentes biomas e no clima (SCHROEDER et al., 2014).

O processo de combustão de biomassa vegetal em condições ideais de completa combustão libera para a atmosfera dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água (H₂O), de acordo com a Equação 1 (LEVINE, 1994):



em que CH₂O representa a composição média da biomassa vegetal, O₂ o oxigênio, CO₂ o dióxido de carbono e H₂O o vapor d'água.

Entretanto, a combustão completa dificilmente é alcançada durante a queima de biomassa, sendo comum a liberação de outros gases causadores do efeito estufa além do CO₂ para a atmosfera, como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (BURLING et al., 2010).

Nas últimas décadas, observa-se o aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera, devido à ação antrópica, e têm-se proposto iniciativas visando diminuir suas emissões, como, por exemplo, o Protocolo de Kyoto. Dentre os gases do efeito estufa, pode-se

destacar o CO₂, responsável por cerca de 60% do efeito estufa (CETESB, 2014), sendo que para esse gás a queima de biomassa é uma das suas principais fontes de emissão.

Considerando o Brasil, uma das principais fontes de queima de biomassa na Região Centro-Sul é a queimada pré-colheita da cana-de-açúcar (FRANÇA et al., 2012), pois a queima da palhada da cana-de-açúcar facilita seu corte. No entanto, quando se trata do estado de São Paulo, o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil (CANASAT, 2014), a queima pré-colheita vêm diminuindo gradativamente, sendo essa diminuição impulsionada pelo Protocolo Etanol Verde.

Nos últimos anos, características do sensoriamento remoto orbital que o fazem ideal para estudos de fenômenos dinâmicos, como a aquisição de dados de forma sistemática e em nível global, o tornaram a principal fonte de dados para estimar a queima de biomassa e suas emissões (ICHOKU et al., 2012; HANTSON et al., 2013). Atualmente, um dos métodos mais utilizados para estimar a biomassa queimada e suas emissões é derivado da Potência Radiativa do Fogo (FRP) (FREEBORN et al., 2008; PEREIRA et al., 2012), que é definida como a taxa na qual energia é emitida pelo fogo na forma de radiação durante a queimada (WOOSTER et al., 2003). Esse método baseia-se no trabalho de Wooster (2002), que testou as relações entre a FRP e a biomassa queimada em um experimento de combustão em pequena escala, chegando à conclusão que existia de uma relação linear entre essas variáveis.

Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho é utilizar a FRP dos focos de queimada detectados pelos produtos de fogo ativo derivados dos sensores *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* (SEVIRI) para quantificar a biomassa queimada e as emissões de CO₂ associadas à queimada pré-colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre 2010 e 2013.

2. Área de Estudo

Com a crescente preocupação ambiental global, vêm-se procurando formas de diminuir as emissões de gases do efeito estufa, e, assim, o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar está assumindo proporções mundiais, pois o seu uso é uma forma de diminuir o consumo de combustíveis fósseis, fato esse que estimula a expansão do cultivo da cana-de-açúcar (AGUIAR et al., 2011). Dentro desse contexto, está inserido o estado de São Paulo (**Figura 1**), o maior produtor nacional, com mais de 5.768.000 hectares de cana-de-açúcar cultivados somente na safra 2013/14 (CANASAT, 2014).

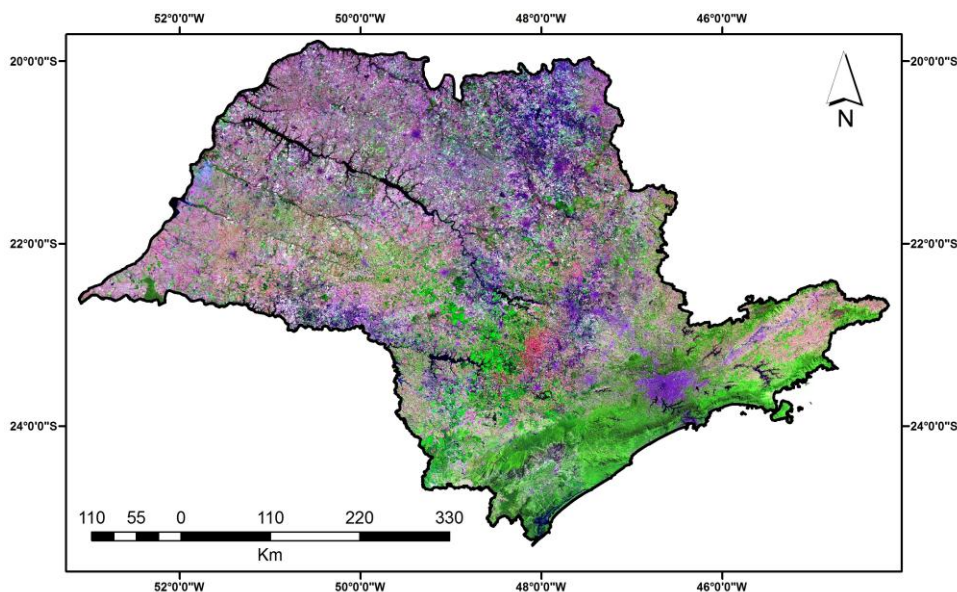


Figura 1. Localização da área de estudo, o estado de São Paulo. Mosaico de imagens TM/Landsat-5, composição colorida R5G4B3.

Devido aos fatores negativos da queimada pré-colheita da cana-de-açúcar, como o aumento das emissões de gases do efeito estufa e da incidência de problemas respiratórios, além da pressão popular e o aumento da mecanização do campo, foi criado no estado de São Paulo o Protocolo Etanol Verde, uma Lei Estadual que prevê o fim da queimada pré-colheita em seu território em 2014 para áreas mecanizáveis (declividade $\leq 12\%$) e em 2017 para áreas não mecanizáveis (declividade $>12\%$) (SMA-SP, 2014). Têm-se observado que o uso da queimada pré-colheita no estado de São Paulo está diminuindo gradativamente ao longo dos anos, como comprova o mapeamento temático do tipo de colheita da cana-de-açúcar realizado pelo projeto Canasat, em que a área colhida sem a queima (cana crua) aumentou de 34% em 2006 para mais de 72% em 2012 (CANASAT, 2014). Ressalta-se que o mapeamento temático do tipo de colheita realizado para 2013 pelo projeto Canasat ainda não está disponível.

3. Materiais e Métodos

3.1 Produtos de Fogo Ativo

3.1.1 MOD14 e MYD14

O sensor MODIS está a bordo dos satélites Terra e Aqua, de órbita polar a uma altitude de 700 km, e possui uma resolução radiométrica de 12 *bits*, operando em 36 canais espectrais em comprimentos de onda que variam de 0,4 μ m a 14,4 μ m com uma resolução espacial de 250, 500 ou 1000 metros dependendo do produto em questão e resolução temporal de 1 a 2 dias. Esse sensor foi configurado para com intuito de fornecer dados para analisar os processos que ocorrem na superfície terrestre, oceanos e atmosfera inferior (JUSTICE et al., 2002).

O horário de passagem do MODIS sobre um ponto da superfície terrestre varia de acordo com a plataforma e possibilitam 4 imageamentos diários de um ponto da superfície terrestre (GIGLIO, 2005). Os produtos de fogo do MODIS (MOD14 e MYD14), disponibilizados pelo banco de dados *Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System* (LAADS Web), fornecem a localização de focos de queimada baseando-se na emissão dos alvos nos comprimentos de onda centrados em 4 μ m e 11 μ m a uma resolução espacial nominal de 1 km (ICHOKU et al., 2012).

3.1.2 FRP-PIXEL

O sensor SEVIRI está a bordo da segunda geração de satélites geoestacionários *METEORological SATellite* (METEOSAT) a uma altitude de cerca de 36.000 km. O sensor coleta dados a cada 15 minutos, tornando-o ideal para o estudo de fenômenos dinâmicos, como as queimadas. O SEVIRI está centrado na África e Europa e opera em 12 canais espectrais localizados nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal, com resolução espacial de 3 km no nadir e resolução espacial média no Brasil de 6 km, podendo chegar a mais de 8 km (ROBERTS e WOOSTER, 2008).

O produto de fogo do SEVIRI (FRP-PIXEL) é disponibilizado pela *Land Surface Analysis Satellite Applications Facility* (LAS SAF) e apresenta no total 14 variáveis, dentre elas a latitude e a longitude dos focos de queimada detectados, a FRP, o horário de aquisição e a área do *pixel* que contém queimada.

3.2 Metodologia

As etapas da metodologia aplicada são apresentadas na **Figura 2**. A primeira etapa consiste na aquisição dos produtos, a partir de *file transfer protocol* (FTP) disponibilizada gratuitamente pelos centros de pesquisa mencionados na descrição dos produtos de fogo ativo.

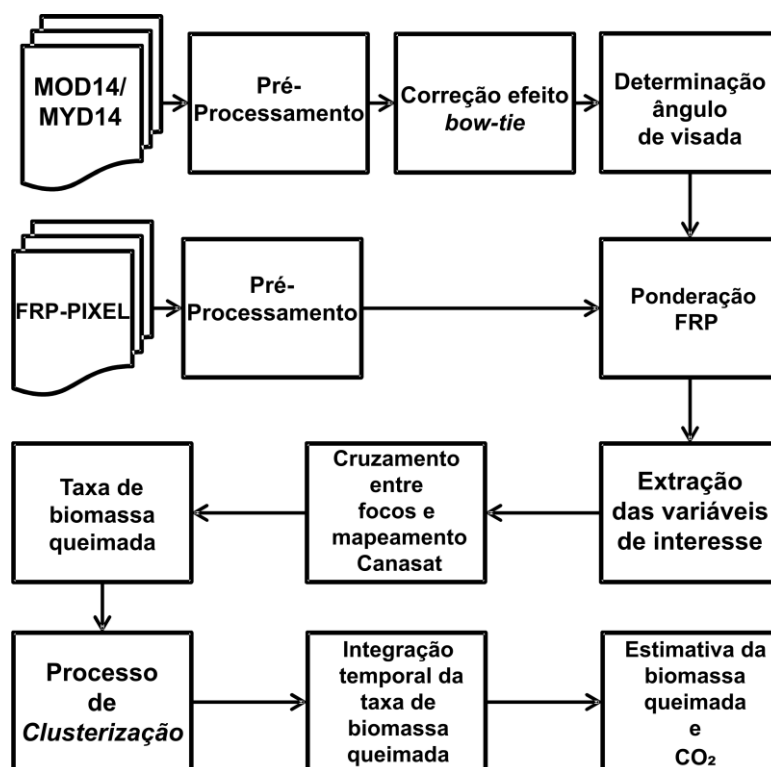


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada para a realização do trabalho.

Para o MOD14 e o MYD 14, em um primeiro momento os *pixels* de baixa confiabilidade (menor que 30%) são eliminados, sendo então estimados o ângulo de visada e a área de cada *pixel*, como proposto por Ichoku e Kaufman (2005). Ainda, considerando as características geométricas do MODIS, que pode operar com um ângulo de imageamento de até $\pm 55^\circ$, tem-se o efeito *bow-tie*, que consiste na sobreposição da área que formará um determinado *pixel* devido ao aumento do ângulo de visada, com a principal influência do efeito *bow-tie* na estimativa da FRP a repetição de um mesmo foco em *pixels* adjacentes (PEREIRA, 2013).

Para corrigir o efeito *bow-tie* nas estimativas da FRP do MOD14 e MYD14 foi utilizado o método proposto por Kaiser et al. (2012), que pondera a FRP pelo cosseno ao quadrado do ângulo de visada. Ao final dos processamentos acima descritos, foi gerado um arquivo em formato ASCII contendo os seguintes dados em relação aos focos de queimada detectados pelo MODIS: latitude, longitude, FRP, ângulo de visada, hora de aquisição e área do *pixel*.

Para o produto FRP-PIXEL, inicialmente os dados em formato HDF5 foram convertidos para ASCII, e os *pixels* com confiabilidade menor que 30% excluídos. O passo seguinte do processamento consistiu na ponderação da FRP a partir da FRP estimada pelo sensor MODIS, uma vez que a FRP estimada a partir do SEVIRI é subestimada quando comparada à FRP do MODIS, devido principalmente à diferença entre as resoluções espaciais dos sensores (PEREIRA, 2013). Ao fim das etapas descritas, o algoritmo aplicado origina um ASCII com as variáveis latitude, longitude, FRP, ângulo de visada, hora de aquisição e área do *pixel*.

Como existem incertezas em relação a real localização dos dados utilizados devido às características gerais dos sistemas sensores previamente apresentados e pretende-se relacionar os focos de queimada com as áreas de cana-de-açúcar, optou-se por criar um *buffer* de 8 km em torno das áreas de cana-de-açúcar colhidas com queima (classe cana-queima) definidas pelo mapeamento temático do projeto Canasat para cada ano analisado, sendo a distância do *buffer* definida como um *pixel* de deslocamento em relação à maior resolução espacial, ou seja, 8 km, já que o FRP-PIXEL pode chegar a esta resolução espacial no Oeste do estado de São Paulo. Ressalta-se que como o mapeamento temático do tipo de colheita do projeto Canasat para 2013 ainda não está disponível, para esse ano foi utilizado o *buffer* gerado a

partir do mapeamento temático de 2012. O resultado obtido após esse processamento foram os focos de queimada que ocorreram em áreas de cultivo de cana-de-açúcar entre 2010 e 2013.

Na sequência, foi estimada a taxa de biomassa queimada para cada foco utilizando o coeficiente de biomassa queimada para a cana-de-açúcar encontrado por Mataveli (2014):

$$TBQ_{cana} = 0,57.FRP \quad 2$$

em que TBQ_{cana} é a taxa de biomassa queimada para a cana-de-açúcar ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) e FRP é a potência radiativa do fogo (MW).

Em seguida, as estimativas de TBQ_{cana} e a área de cada *pixel* foram agrupadas a partir do horário de aquisição dos dados em uma grade regular de 8 km e a biomassa queimada é, por fim, estimada a partir da integração temporal das estimativas na grade regular. Para se estimar o de CO_2 a biomassa queimada foi multiplicada pelo fator de emissão de CO_2 para a queima da cana-de-açúcar encontrado por França et al. (2012).

4. Resultados e Discussão

As estimativas de biomassa queimada pela colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo de 2010 a 2013 são apresentadas na **Figura 3**. Para cada ano, os valores de biomassa queimada ($\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$) são agrupados em 9 classes e a cor cinza representa as áreas onde não existe o cultivo da cana-de-açúcar. Como os valores encontrados variaram consideravelmente, os valores que definem o intervalo de cada uma das 9 classes temáticas foram específicos para cada ano analisado, e estabelecidos a partir da análise da variância dos valores encontrados.

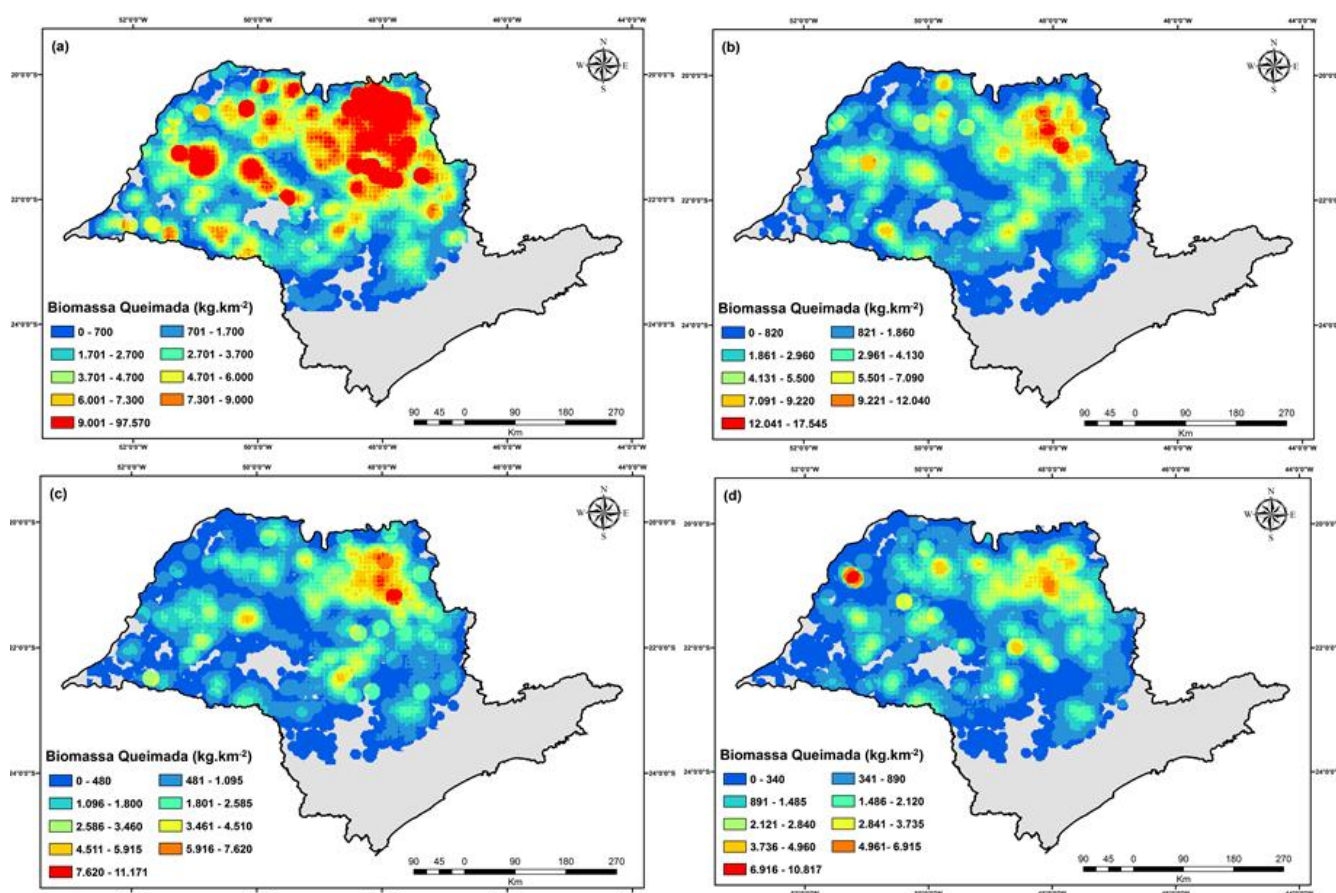


Figura 3. Estimativa da biomassa queimada ($\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$) pela colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo em 2010 (a), 2011 (b), 2012 (c) e 2013 (c).

Em 2010, as estimativas foram as maiores encontradas, o que era esperado, pois esse foi um ano de seca nos meses de colheita da cana-de-açúcar (abril a novembro), e a seca aumenta a probabilidade da ocorrência de queimadas devido a fatores como a baixa umidade relativa do ar e a ausência de chuvas (COUTINHO, 1990). Ainda, em 2010 foi registrada a maior área total colhida da cana-de-açúcar no estado de São Paulo desde 2006, sendo a mesma somente menor que a área total colhida no ano de 2011 (CANASAT, 2014); porém, ainda de acordo com o projeto Canasat (2014), a área colhida com queima diminuiu entre 2010 e 2011 em mais de 430.000 hectares, cerca de 20% da área colhida com queima em 2010. Nesse ano, foi possível encontrar estimativas superiores a $97.000 \text{ kg.km}^{-2}$, ou seja, mais de 97 toneladas de biomassa foram queimadas na área correspondente a uma célula da grade regular gerada.

Nos anos seguintes, nota-se uma diminuição significativa da biomassa queimada pela colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, chegando à estimativa máxima encontrada no ano de 2013 correspondente a $10.817 \text{ kg.km}^{-2}$, pouco mais de 11% do valor máximo estimado para 2010. Essa diminuição da biomassa queimada apresentada nos resultados tem como principal causa o Protocolo Etanol Verde, pois está se aproximando o prazo para o cumprimento das metas estabelecidas no mesmo; além disso, contribuem para essa diminuição o aumento do acesso à mecanização no campo e o fato de que nos últimos anos as áreas de expansão do cultivo da cana-de-açúcar já adotam as condições e a tecnologia necessárias para a colheita mecânica. No entanto, é fato que mesmo com as proibições impostas por lei as queimadas em áreas de cana-de-açúcar não serão totalmente eliminadas, pois pode ocorrer o início do fogo a partir de acidentes ou causas naturais, como os raios, e até mesmo de forma criminosa; além disso, condições ambientais favoráveis aumentam a sua incidência e o controle das queimadas se torna difícil, como ocorreu no ano de 2010 e também é esperado que ocorra em 2014, que também é um ano de seca.

Em relação à distribuição espacial da biomassa queimada, em todos os anos analisados a maior concentração foi encontrada na região Norte do estado de São Paulo, pois é nessa região que se concentra o cultivo da cana-de-açúcar e estão alguns dos municípios com a maior área cultivada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, como os municípios de Morro Agudo, Barretos e Guaíra (CANASAT, 2014). Ainda merecem destaque a região Central do estado, também tradicional no cultivo da cana-de-açúcar, e a região administrativa de Araçatuba, que no ano de 2013 apresentou as maiores estimativas encontradas.

Essa diminuição da biomassa queimada se reflete nas emissões de CO_2 , como é apresentado na **Figura 4**, que compara o total anual de CO_2 emitido pela queimada pré-colheita da cana-de-açúcar entre 2010 e 2013.

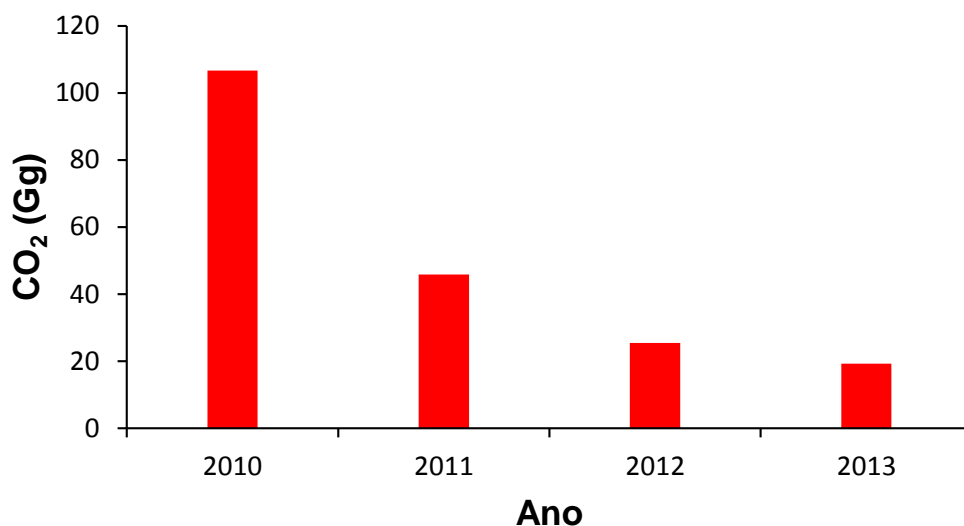


Figura 4. Total anual de CO_2 emitido pela queimada pré-colheita da cana-de-açúcar em São Paulo entre 2010 e 2013.

Ao se analisar a **Figura 4**, é notável a redução nas emissões de CO₂, que foram estimadas em 106,67 Gigagramas (Gg) no ano de 2010, e 19,27 Gg em 2013, uma diminuição de aproximadamente 82%. Contudo, assim como ressaltado por Aguiar et al. (2011), essa temática merece estudos mais aprofundados para se avaliar com mais clareza os ganhos ambientais promovidos pelo Protocolo Etanol Verde, pois com a proibição da queimada pré-colheita outras fontes de emissão de gases do efeito estufa são empregadas, como, por exemplo, os combustíveis fósseis, que são utilizados pelas colheitadeiras e também para o transporte da produção, já que se aumenta o volume colhido e que deve ser transportado para as usinas.

5. Conclusões

Quanto às estimativas obtidas, percebe-se uma queda significativa na biomassa queimada e nas emissões de CO₂, e a tendência é que nos anos seguintes essa queda se acentue ainda mais, contudo, deve-se considerar que as mesmas dificilmente acabarão por completo. Espera-se que a quantificação da biomassa queimada e das emissões de CO₂ pela queimada pré-colheita da cana-de-açúcar para o estado de São Paulo possa servir de exemplo para outros estados que ainda não possuem metas para reduzir essa atividade.

Por fim, ressalta-se a necessidade de validar as estimativas obtidas, sendo o ideal estimar a biomassa queimada e as emissões de CO₂ para talhões de cana-de-açúcar submetidos a queimada pré-colheita, a fim de se obter estimativas nas condições reais em que a queimada pré-colheita ocorre.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de pesquisa do Programa de Capacitação Institucional (PCI).

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F.; ADAMI, M.; MELLO, M. P. Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo, Brazil. **Remote Sensing**, v.3, n.12, p. 2682-2703, 2011.
- BURLING, I. R.; YOKELSON, R. J.; GRIFFITH, D. W. T.; JOHNSON, T. J.; VERES, P.; ROBERTS, J. M.; WARNEKE, C.; URBANSKI, S. P.; REARDON, J.; WEISE, D. R.; HAO, W. M.; DE GOUW, J. Laboratory measurements of trace gas emissions from biomass burning of fuel types from the Southeastern and Southwestern United States. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussion**, v. 10, n. 1, p. 16425-16473, 2010.
- Canasat: **mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra**. São José dos Campos, 2014. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html>> Acesso em: 02 de out. de 2014.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancasclimaticas/proclima/Efeito%20Estufa/9Gases%20do%20Efeito%20Estufa>>. Acesso em: 02 out. 2014.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G. (Ed.) **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990. Cap. 6, p. 82-105.
- FRANÇA, D. A.; LONGO, K. M.; NETO, T. G. S.; SANTOS, J. C.; FREITAS, S. R.; RUDORFF, B. F. T.; CORTEZ, E. V.; ANSELMO, E.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, p. 164-180, 2012.
- 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, D01102, 10.1029/2007JD008489, 2008.

GIGLIO, L. **MODIS collection 4 active fire product user's guide**. Version 2.2, 2005. Disponível em: <maps.geog.umd.edu/products/MODIS_Fire_Users_Guide_2.2.pdf>. Acesso em: 02 out. 2014.

HANTSON, S.; PADILLA, M.; CORTI, D.; CHUVIECO, E. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. **Remote Sensing of Environment**, v.131, n.1, p. 152-159, 2013.

ICHOKU, C.; KAUFMAN, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.

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.

JUSTICE, C. O.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J. T.; ROY, D. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 2, p. 244-262, 2002.

KAISER, J. W.; HEIL, A.; ANDREA, M. O.; BENEDETTI, A.; CHUBAROVA, N.; JONES, L.; MORCRETTE, J. J.; RAZINGER, M.; SCHULTZ, M. G.; SUTTIE, M.; VAN DER WERF, G. R. Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power. **Biogeosciences**, v.9, n.1, p. 527-554, 2012.

LEVINE, J. S. Biomass burning and the production of greenhouse gases. In: Zepp, R. G. (Ed.) **Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change**, Isbn 0-471-58943-3, 1994. Disponível em: <http://asdwww.larc.nasa.gov/biomass_burn/biomass.html>. Acesso em: 26 ago. 2014.

MATAVELI, G. A. V. Análise da influência do ângulo de visada e do *backgorund* na estimativa da potência radiativa do fogo. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 99 p., 2014.

PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; SILVA, F. B.; MORAES, E. C.; FERREIRA, N. J.; FREITAS, S. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; BREUNIG, F. M.; VIANA, D. R. Determinação e modelagem da taxa de consumo de biomassa queimada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p. 13-22, 2012.

PEREIRA, G. **Estimativa e assimilação das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas em modelos de química atmosférica**. 2013. 124 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/11.25.18.36-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3F9T392>>. Acesso em: 09 out. 2014.

ROBERTS, G.; WOOSTER, M. Fire detection and fire characterization over Africa using Meteosat SEVIRI. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, n. 4, p. 1200-1218, 2008.

SCHOREDER, W.; ELLICOTT, E.; ICHOKU, C.; ELLISON, L.; DICKINSON, M. B.; OTTMAR, R. D.; CLEMENTS, C.; HALL, D.; AMBROSIA, V.; KREMENS, R. Integrated active fire retrievals and biomass burning emissions using complementary near-coincident ground, airborne and spaceborne sensor data. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, n.01, p. 719-730, 2014.

Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA-SP). **Eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/default.aspx?idPagina=123>>. Acesso em: 03 out. 2014.

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. 231-234, 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.