

INFLUENCIA DAS QUEIMADAS NO COMPORTAMENTO DAS CHUVAS NOS MUNICIPIOS DE BOTUCATU E PIRACICABA, ESTADO DE SÃO PAULO

**JUAN MANUEL FERNÁNDEZ LORENZO¹; ÉRICO TADAO TERAMOTO²;
RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ-ROMÁN²; ALBA MARIA GUADALUPE
ORELLANA GONZÁLEZ² E JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO²**

¹ Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Calle L, Edificio Mella Vedado, ciudad de La Habana, Cuba. Email: Juanma@geo.uh.cu

² Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP-Botucatu/SP, Fazenda Lageado, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, CEP 18.610-307 - Botucatu, SP. Email: ericoengineer@gmail.com, rmsroman@fca.unesp.br, amorellana@hotmail.com, escobedo@fca.unesp.br

1 RESUMO

O presente trabalho utilizou séries temporais de precipitação pluvial medidas nas estações meteorológicas da FCA/UNESP-Botucatu(1971-2013) e da ESALQ/USP-Piracicaba (1980-2012), ambas localizadas no Estado de São Paulo, com o objetivo de verificar a possível existência de tendências (aumento ou diminuição) que podem estar relacionadas com as queimadas que ocorrem em alguns estados Brasileiros. A queima de biomassa é capaz de influenciar a nebulosidade e a precipitação, pois gera aerossóis que atuam como núcleos de condensação de nuvens (NCN). As séries temporais de ambos os municípios mantiveram um padrão comum de comportamento e nelas pode-se determinar a existência de rupturas que evidenciam a existência de três períodos distintos. O primeiro período foi do início das séries (1971 em Botucatu e 1980 em Piracicaba) até 1983, o segundo período foi de 1984 a 2008 e o terceiro período de 2009 até 2012 e 2013. No segundo período houve uma tendência de redução no volume anual de precipitação pluvial. A ocorrência dos três períodos distintos está relacionada com a mudança do uso do solo no Estado de São Paulo, com a expansão das fronteiras agrícolas no norte e centro-oeste do Brasil e com a prática da queima de biomassa.

Palavras-chave: análise de tendência, regressão linear, aerossóis, mudanças climáticas.

**LORENZO, J. M. F.; TERAMOTO, E. T.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; GONZÁLEZ,
A. M. G. O.; ESCOBEDO, J. F.**

**INFLUENCE OF BURNINGS IN THE BEHAVIOUR OF RAINFALLS IN THE
CITIES OF BOTUCATU AND PIRACICABA, SÃO PAULO STATE**

2 ABSTRACT

This work used the time series of rainfall measured in the meteorological stations of FCA/UNESP-Botucatu (1971-2013) and of ESALQ/USP-Piracicaba (1980-2012), both located in São Paulo State, aims to verify the possible existence of trends (increase or decrease). Biomass burning can influence the cloudiness and the rainfall, because it generates aerosols that act as cloud condensation nuclei (CCN). The time series of both cities maintained a similar pattern in the behavior and disruptions that revealed the existence of three distinct periods that can be related to burnings that occur in some Brazilian states. The first period is from the

beginning of the series (1971 in Botucatu and 1980 in Piracicaba) to 1983, second period is from 1984 to 2008 and third period is from 2009 to 2012 or 2013. In the second period there was a tendency of reduction in the annual volume of rainfall. The occurrence of the three distinct periods are related to land use change in São Paulo State, to expansion of the agricultural frontier in the northern and middle-western Brazil and to increase in the practice of biomass burning.

Keywords: trend test, linear regression, aerosols, climate change.

3 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais de caráter natural sempre existiram na história da humanidade, sendo em alguns ecossistemas parte do ciclo natural e essenciais para a sua sobrevivência. Porém, quando esse processo é intensificado pela interferência antrópica, as alterações que ocorrem no meio ambiente podem gerar consequências desastrosas. Como exemplo, a queima de biomassa na América do Sul é responsável pela emissão de $30 \times 10^6 \text{Ton ano}^{-1}$ de aerossóis para atmosfera (Andreae, 1991), sendo o Brasil o maior emissor (Freitas et al., 2005). Grande parte dos aerossóis originados da queima de biomassa atua como núcleo de condensação de nuvens (NCN). Aumentos na concentração de NCN na atmosfera podem alterar a transmissão da radiação solar através da atmosfera e inibirem a ocorrência de chuvas (RAMANATHAN et al., 2001; KAUFMAN e KOREN, 2006; CODATO et al., 2008).

Entre os meses de junho a novembro, são frequentes as queimadas nas regiões norte e centro-oeste do país, que ocorrem em áreas de vegetação nativa (floresta amazônica e cerrado) e de pastagem (HOLBEN et al., 2001; FREITAS et al., 2004; CPTEC, 2010). No mesmo período do ano também ocorrem as queimadas em lavouras de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, que são realizadas como objetivo de facilitar a colheita manual dos colmos (CPTEC, 2010; CANASAT, 2010). Devido às queimadas que ocorrem nas regiões norte, centro-oeste e no Estado de São Paulo, são verificados aumentos nas concentrações de aerossóis na atmosfera sobre o Estado de São Paulo durante o período (LARA et al., 2006; CODATO et al., 2008; MARIANO et al., 2010). O pico na concentração de aerossóis ocorre em setembro, quando atinge valores até 140% maiores em relação aos meses que precedem o início das queimadas (LARA et al., 2006; CODATO et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi verificar a possível existência de tendências em séries de precipitação pluvial, medidas nos municípios de Botucatu/SP (1971-2013) e Piracicaba/SP (1980-2012), que podem estar relacionadas às queimadas que ocorrem nas regiões norte e centro-oeste do Brasil e no Estado de São Paulo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo foi necessário recompilar as séries históricas disponíveis das estações meteorológicas de Botucatu ($22^{\circ}50'84''\text{S}$; $48^{\circ}25'53''\text{W}$; 786m) e de Piracicaba ($22^{\circ}42'44''\text{S}$; $47^{\circ}37'44''\text{W}$; 180m). Os dados de Botucatu foram medidos na Estação Meteorológica da FCA/UNESP durante o período de 1971 a 2013 e de Piracicaba na Estação Meteorologia da ESALQ/USP durante o período de 1980 a 2013. Para a identificação de tendências foi realizada a regressão linear sobre os dados de precipitação pluvial. O

processamento e análise estatística dos dados foi realizada utilizando os programas computacionais Microsoft Excel e STATGRAPHICS Centurion XVI.

Os municípios de Botucatu e Piracicaba, conforme os mapas temáticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Figura 1), localizam-se fundamentalmente no planalto do rio Paraná, região central do Estado de São Paulo, distante 221 km do oceano Atlântico. A região na qual as duas cidades estão situadas faz parte do cinturão de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.

Figura 1. Localização geográfica dos municípios de Botucatu e Piracicaba.



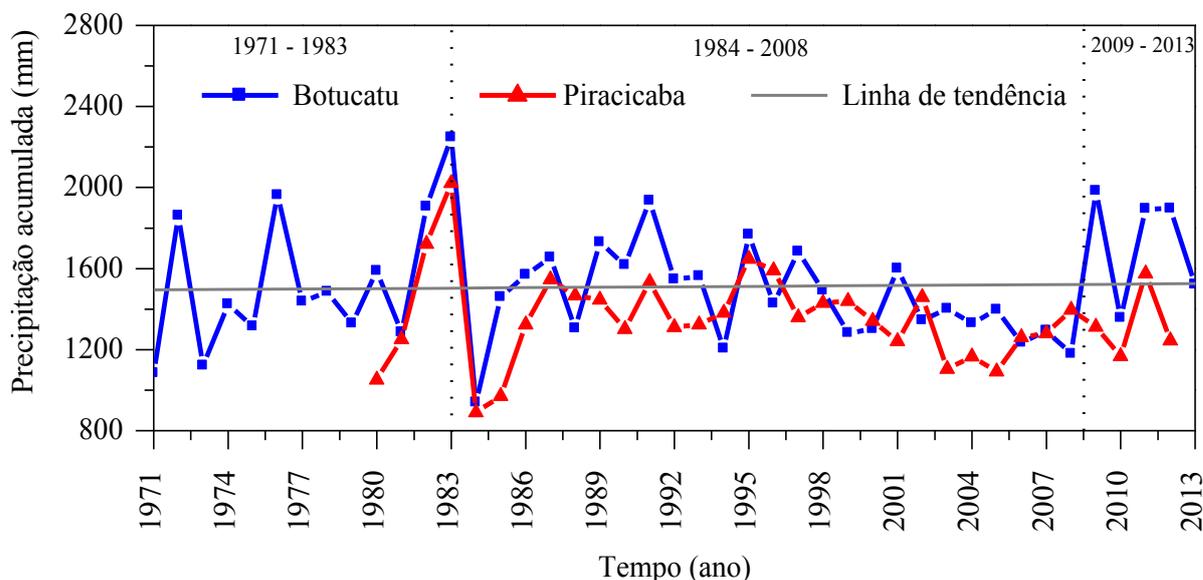
O clima nos dois municípios é caracterizado pelo verão quente e chuvoso e inverno frio e seco (Cwa na classificação de Köppen), com temperaturas do ar médias mensais entre 16 e 22°C.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variação da precipitação pluvial acumulada anual

Os valores de precipitação pluvial acumulada em Botucatu foram maiores que em Piracicaba, porém as séries temporais em ambas as cidades apresentaram o mesmo padrão de variação. Em Botucatu a média anual foi de $1510,1 \pm 280,4$ mm e em Piracicaba foi de $1353 \pm 223,7$ mm. Na análise de tendências verificou-se a existência de rupturas nas séries temporais das duas cidades, que evidenciam a ocorrência de três períodos distintos (Figura 2).

Figura 2. Séries temporais de precipitação acumulada anual das cidades de Botucatu (1971-2013) e Piracicaba (1980-2012).

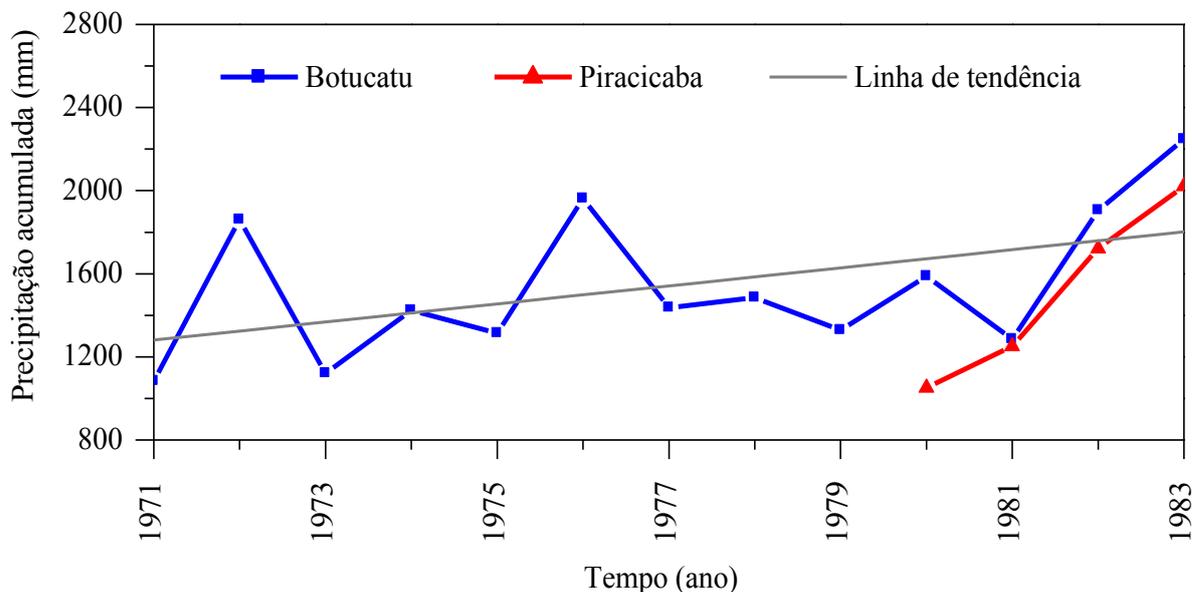


O primeiro período em Botucatu ocorreu entre os anos de 1971 a 1983 e em Piracicaba de 1980 a 1983, onde são verificadas a existência de irregularidades e elevados valores de precipitação acumulada anual. O segundo período ocorreu entre os anos de 1984 a 2008 em ambas as cidades, onde a precipitação acumulada apresentou maior regularidade e uma tendência de redução. No terceiro período, compreendido entre 2009 e 2013 para Botucatu e entre 2009 a 2012 para Piracicaba, houve o retorno das irregularidades e elevados valores de precipitação acumulada.

5.2 Análise da variação da precipitação acumulada no primeiro período

Durante os anos que compõem o primeiro período, os valores de precipitação acumulada anual em Botucatu variaram de 1084,2mm a 2247,0mm, sendo a média do período equivalente a $1541,7 \pm 352,2$ mm. Em Piracicaba os valores de precipitação acumulada anual permaneceram entre 1050,8mm e 2021,2mm, sendo a média do período equivalente a $1511,6 \pm 441,2$ mm. Nas duas cidades, o valor médio do período foi maior que a média da série temporal total. No teste de tendências, verificou-se a existência de uma tendência positiva (aumento) na precipitação acumulada (Figura 3).

Figura 3. Variação da precipitação acumulada anual em Botucatu e Piracicaba durante o primeiro período.

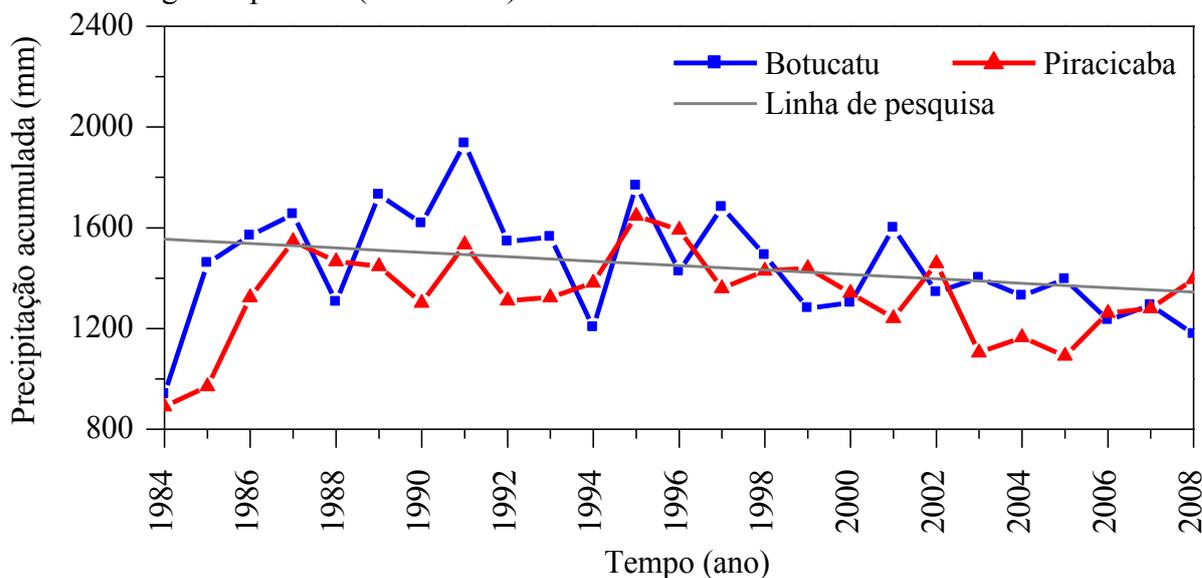


Nos anos anteriores à 1980 a atividade agrícola predominante na região centro-sul do Estado de São Paulo era a cafeicultura, cultura considerada perene. Nas regiões norte e centro-oeste do Brasil a expansão agrícola ainda não era intensa. Nestas condições, as queimadas de origem antropogênica nas duas regiões não eram frequentes e as concentrações de aerossóis eram baixas.

5.3 Análise da variação da precipitação acumulada anual no segundo período

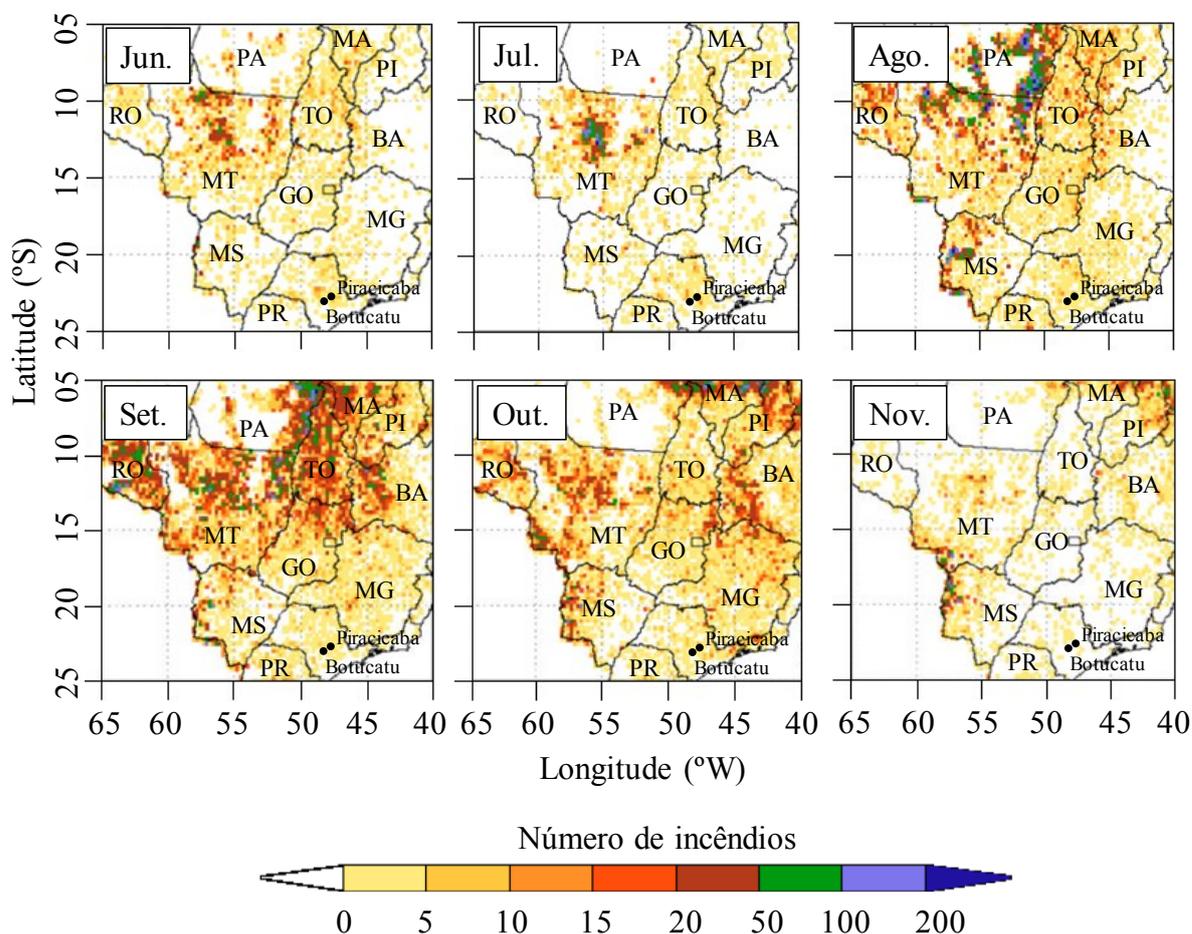
No período de 1984 a 2008, a precipitação média anual foi de $1449,8 \pm 220,5$ mm em Botucatu e de $1332,1 \pm 183,7$ mm em Piracicaba, valores menores e correspondentes a 96 e 98,5% das médias das séries temporais totais, respectivamente. Além disto, houve ao longo do período uma tendência de diminuição no volume acumulado anual de chuvas correspondente a 60,3 mm em Botucatu e 20,9 mm em Piracicaba. Se a mesma comparação é feita em relação ao período anterior as diminuições foram ainda menores, 91,9 mm e 179 mm, respectivamente. A tendência de diminuição no volume acumulado anual de chuvas pode ser verificada na Figura 4 abaixo.

Figura 4. Variação da precipitação acumulada anual em Botucatu e Piracicaba durante o segundo período (1984-2008).



Neste período, até a segunda metade da primeira década do século XXI, houveram alterações no uso do solo nos dois municípios e na maioria dos estados brasileiros. Grande parte dos cafezais que haviam em Botucatu, em Piracicaba e nas cidades adjacentes deram espaço às lavouras de cana-de-açúcar. Com o estabelecimento da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo teve início a emissão de aerossóis devido à durante o período de colheita. No centro-oeste e norte do Brasil, particularmente nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Goiás e Amazonas, devido a expansão das fronteiras agrícolas houve intensa queima de biomassa associada ao desmatamento das vegetações nativas (Figura 5). Como resultado da queima de biomassa houve intensas emissões de aerossóis, os quais permaneceram na atmosfera local até sofrerem deposição ou foram carregados por massas de ar para outras regiões.

Figura 5. Frequência de incêndios por unidades de grade (28km x 28km) entre os meses de junho a novembro de 2002 detectados por meio do satélite NOAA. Fonte: CPTEC (2010).

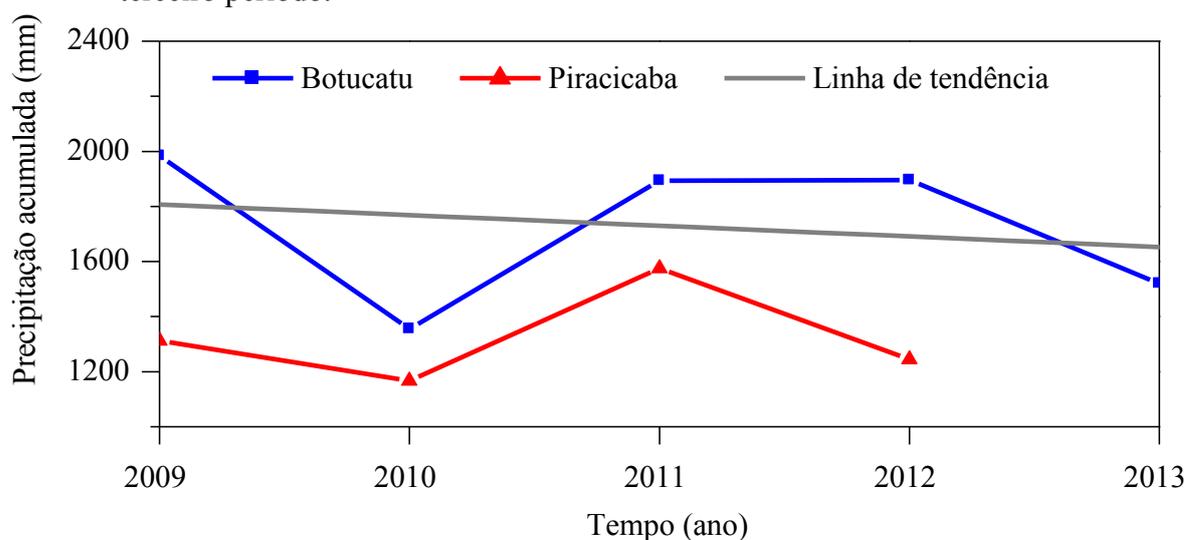


A circulação atmosférica na América do Sul é controlada pelos centros de altas pressões do Atlântico e Pacífico Sul (SAAVEDRA et al., 2011). Em particular, as regiões centrais e sul do Brasil têm uma forte influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). O ASAS gera a circulação de massas de ar da região noroeste da América do Sul no sentido da região central e sudeste do Brasil durante os meses de junho a setembro e que podem se estender até outubro e novembro. Devido à circulação das massas de ar geradas pelo ASAS, há a movimentação de aerossóis gerados pelas queimadas nas regiões norte e centro-oeste do Brasil até o Estado de São Paulo. Nas cidades de Botucatu e Piracicaba, o aumento na concentração de aerossóis durante os meses de queimada, em relação aos meses que precedentes, é de até 140% (LARA et al., 2005; CODATO et al., 2008). Grande parte destes aerossóis são capazes de atuar como NCN e alterar o tempo de vida das nuvens e inibir a ocorrência de chuvas (RAMANATHAN et al., 2001; KAUFMAN e KOREN, 2006; CODATO et al., 2008).

Outras fontes de aerossóis que afetam os municípios de Botucatu e Piracicaba durante os meses de agosto a novembro são as queimadas em áreas de vegetação nativa e de pastagem que ocorrem na Bolívia, Paraguai e Argentina, que são países que fazem fronteira com o Brasil (Figura 6). O transporte dos aerossóis destes países até o Estado de São Paulo é feito pelas frentes frias, que se movimentam da região sudoeste da América do Sul até Oceano Atlântico (SAULO et al., 2004).

Paulo ainda era colhida após a prática da queima (AGUIAR et al., 2009). Nas regiões norte e centro-oeste do Brasil houve redução no desmatamento e queimadas em áreas de vegetação nativa devido ao Decreto de 3 de julho de 2003 e ao Decreto nº 6063/2007. O primeiro decreto citado instituiu o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado - PPCerrado, com a finalidade de promover medidas e ações que visem à redução da taxa de desmatamento, queimadas e incêndios florestais no bioma. O segundo artigo citado, dentre outras medidas, também instituiu a fiscalização e inibição do desmatamento e queimadas em áreas com floresta amazônica.

Figura 7. Variação da precipitação acumulada anual em Botucatu e Piracicaba durante o terceiro período.



6 CONCLUSÕES

Confirmou-se a existência de uma tendência de redução no volume acumulado anual de chuvas nas cidades de Botucatu e Piracicaba durante o período de 1983 a 2008. A tendência de redução e os três períodos observados ao longo das séries temporais de precipitação acumulada estudadas podem estar relacionados diretamente com o aumento das atividades agrícolas e prática da queima de biomassa nas regiões norte e centro-oeste do Brasil e da expansão da cultura de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Ressalta-se a necessidade da continuidade do estudo com a análise de séries medidas em outras cidades do Estado de São Paulo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E. **Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V.29, n.3, p. 440-451, 2009.

ANDREAE, M. **Biomass burning: its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate.** Cambridge: MIT Press, p.3-21, 1991.

ARAÚJO, C. A. Y; PAULIQUEVIS, T. **Aerossóis, nuvens e clima: resultados do experimento LBA para o estudo de aerossóis e microfísica de nuvens.** Rev. bras. meteorol. V.24, n.2, 2009.

CANASAT. **Mapa da colheita de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.** 2010. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html>>. Acesso em: fevereiro 2015.

CAPAZ, R. S.; CARVALHO, V. S. B.; NOGUEIRA, L. A. H. **Impact of mechanization and previous burning reduction on GHG emissions of sugarcane harvesting operations in Brazil.** Applied Energy, V.102, p.220-228, 2013.

CPTEC. **Climanálise - Boletim de monitoramento e análise climática.** 2010. Disponível em:<<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em fevereiro 2015.

FREITAS, S. R., K.; LONGO, M. A.; SILVA DIAS, P. L.; SILVA DIAS, R.; CHATFIELD, E.; PRINS, P.; ARTAXO, P.; GRELL, G.; RECUERO, F. **Monitoring the Transport of Biomass Burning Emissions in South America,** Environmental Fluid Mechanics, 5th RAMS Users Workshop Special Issue, 2004.

GUIA GEOGRÁFICO MAPAS DO BRASIL. **Mapas do território brasileiro.** Disponível em <www.mapasdobrasil.br>. Acesso em: fevereiro 2015.

HOLBEN, B. N.; et al. **An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET.** Journal of Geophysical Research, V.106, n.11, p. 12067-12097, 2001.

KAUFMAN, Y. J., KOREN, I. **Smoke and pollution aerosol effect on cloud cover.** Science, V.313, p.655-658, 2006.

LARA, L. L.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; CAMARGO, P. B.; VICTÓRIA, R. L.; FERRAZ, E. S. B. **Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil.** Atmospheric Environment, V.39, p.4627-4637, 2005.

MARIANO, G. L.; LOPES, R. J. S.; JORGE, M. P. P. M.; LANDULFO, E. **Assessment of biomass burnings activity with the synergy of sunphotometric and LIDAR measurements in São Paulo, Brazil.** Atmospheric Research, V.98, n.2-4, p.486-499, 2010.

RAMANATHAN, V., CRUTZEN, P. J., KIEHL, J. T. , ROSENFELD, D. **Atmosphere - Aerosols, climate, and the hydrological cycle.** Science, V.294, p.2119-2124, 2001.

RODRIGUES, M. L. G; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica,** V.22, n.2, p.135-151, 2004.

SAAVEDRA, M.; CALVO, M.; JIMÉNEZ, C. Caracterización climática de la circulación atmosférica en América del Sur. **Revista de Investigación de Física** 14, V.14, n.1, p.1-7, 2011.

SOUZA, E. L. L.; MACEDO, I. C. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética.** São Paulo: Luc Projetos de Comunicação; p.315, 2010.

SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, M.H.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. **Effect of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil.** Agricultural, Ecosystems and Environment, v.155, p.1-6, 2012.

TERAMOTO, E. T. **Transmissividade atmosférica da radiação solar UV: Análise climática e modelos de estimativa.** 2013. 84p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP.