

Documentos

ISSN 1516-4691
Dezembro, 2016

107

Gases de Efeito Estufa da Queima de Cana-de- açúcar no estado de São Paulo: 1990 a 2015



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 107

Gases de Efeito Estufa da Queima de Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: 1990 a 2015

Magda Aparecida de Lima
Alfredo José Barreto Luiz
Marcos Corrêa Neves

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: + 55 (19) 3311-2700
Fax: + 55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Maria Isabel de Oliveira Penteado*
Secretária-Executiva: *Cristina Tiemi Shoyama*
Membros: *Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria Cristina Tordin, Nilce Chaves Gattaz, Victor Paulo Marques Simão, Daniel Terao (suplente), Lauro Charlet Pereira (suplente) e Marco Antônio Gomes (suplente).*
Revisor de texto: *Nilce Chaves Gattaz*
Normalização bibliográfica: *Victor Paulo Marques Simão*
Foto capa: *Ieda Del'Arco Sanches*
Editoração eletrônica: *Silvana Cristina Teixeira*
Tratamento de ilustrações: *Silvana Cristina Teixeira*

1ª edição eletrônica (2016)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente

Lima, Magda Aparecida de

Gases de efeito estufa da queima de cana-de-açúcar no estado de São Paulo: 1990 a 2015 / Magda Aparecida de Lima, Alfredo José Barreto Luiz, Marcos Corrêa Neves. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016.

33 p. il. (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, ISSN 1516-4691; 107).

1. Efeito estufa. 2. Cana-de-açúcar. 3. Queimada. I. Luiz, Alfredo José Barreto. II. Neves, Marcos Corrêa. III. Título. IV. Série.

CDD 363.73874

© Embrapa 2016

Autores

Magda Aparecida de Lima

Ecóloga, doutora em Geociências e Meio Ambiente, Pesquisadora A, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, CEP 13.820-000, Jaguariúna, SP.

Alfredo José Barreto Luiz

Engenheiro Agrônomo, pós doutor em Sensoriamento Remoto, Pesquisador A, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, CEP 13.820-000, Jaguariúna, SP.

Marcos Corrêa Neves

Engenheiro Eletricista, doutor em Sensoriamento Remoto, Pesquisador A, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, CEP 13.820-000, Jaguariúna, SP.

Apresentação

A Embrapa Meio Ambiente iniciou sua participação nos esforços nacionais e globais para o estudo das Emissões Antrópicas de Gases de Efeitos Estufa há mais de 25 anos, com a preparação para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento - Rio 92, evento que despertou no mundo a preocupação com as mudanças climáticas. Desde então, a Embrapa, por meio de suas diversas unidades de pesquisa, tem contribuído na elaboração de relatórios de Referência do Setor de Agropecuária.

Esses relatórios, que visam compor inventários, apresentam estimativas de emissão com base em dados secundários e não em medições, conforme estabelecido nos métodos adotados pelo Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC). Assim sendo, tanto a fonte dos dados utilizados como os parâmetros e fórmulas aplicados têm decisiva influência nos resultados alcançados.

Este trabalho atualiza informações constantes do 1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeitos Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo, seguindo a mais recente metodologia publicada pelo IPCC. Isso é especialmente oportuno pois houve uma significativa mudança no método do IPCC de 2006, no que diz respeito à queima de resíduos agrícolas, que apresenta diferentes fatores de emissão de gases, utilizados no citado Inventário. Assim, espera-se estimular a realização de outros inventários estaduais.

O documento traz estimativas anuais da emissão de GEE provenientes da queima de resíduos na pré-colheita da cana-de-açúcar, no estado de São Paulo, para o período de 1990 a 2015. Apesar do novo método resultar em uma maior estimativa em relação ao anterior, nas mesmas condições de produção e quantidade de cana produzida, o resultado mais importante é o que mostra uma acentuada redução da emissão nos

últimos anos, efeito direto da adoção do corte da cana crua, preconizado por lei e adotado cada vez em maior proporção no estado de São Paulo.

Marcelo Augusto Boechat Morandi

Chefe-Geral da Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Resumo	8
Abstract.....	9
Introdução.....	10
O cultivo da cana-de-açúcar no estado de São Paulo.....	12
Queima de resíduos de cana	13
Método de estimativa de emissão de gases de efeito estufa provenientes de queima de resíduos utilizando o método do IPCC-2006	14
Dados utilizados na estimativa da massa de carbono emitido na queima de resíduos agrícolas	15
Área (A) e produção de cana-de-açúcar (P)	15
Relação de resíduos (palhico/produção) (R)	16
Relação Nitrogênio/Carbono.....	19
Fração queimada no campo, em % (Fq).....	19
Fração oxidada do resíduo durante a queima (Ro)	24
Taxas de emissão e fatores de conversão.....	25
Estimativas de emissões de CO, CH ₄ , N ₂ O e NO _x provenientes da queima de resíduos na pré-colheita de cana-de-açúcar.....	26
Considerações finais	30
Referências	31

Resumo

Este trabalho apresenta as estimativas atualizadas de emissões de metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x) provenientes da queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo com relação ao período de 1990 a 2015, utilizando os Documentos Orientadores (Guidelines) sobre Elaboração de Inventários de Emissão de Gases de Efeito Estufa do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima – IPCC, de 2006. Em referência a 1990 foram estimadas emissões de 58,51 Gg de CH_4 , 1993,55 Gg de CO, 1,52 Gg de N_2O e 54,17 Gg de NO_x , reduzindo a 32,58 Gg de CH_4 , 1.110,14 Gg de CO, 0,84 Gg de N_2O e 30,17 Gg de NO_x em 2015. As emissões totais estimadas concernentes a 2015 correspondem a uma redução de 44,3% em relação a 1990. Este decréscimo evidencia o papel da legislação estadual e de sua implementação sobre o controle de queimada praticada no cultivo de cana-de-açúcar e na redução das emissões de gases de efeito estufa. Este trabalho mostra também que as estimativas de emissão de CH_4 em 1990 resultaram em valores 4% inferiores aos obtidos no relatório de referência sobre o setor de agricultura do 1º Inventário Estadual de Emissão de Gases de Efeito Estufa, publicado em 2015, o qual se baseou na aplicação do método do IPCC de 1996 para o período de 1990 a 2008. Com respeito ao mesmo ano, as projeções de emissão de N_2O e de NO_x foram 50% inferiores às estimadas pelo método do IPCC de 1996, enquanto as emissões de CO foram 55% superiores.

Palavras-chave: emissão de gases, inventário, mudança climática, metano, monóxido de carbono.

Abstract

This work presents the updated assessments of methane (CH_4), carbon monoxide (CO), nitrous oxide (N_2O) and nitrogen oxides (NO_x) emissions from burning of sugarcane in São Paulo State related to the period of 1990 to 2015 using 2006 IPCC Guidelines. Emissions of 58,51 Gg of CH_4 , 1993,55 Gg of CO, 1,52 Gg of N_2O and 54,17 Gg of NO_x from burning of sugarcane residues were estimated for 1990, achieving 32,58 Gg of CH_4 , 1.110,14 Gg of CO, 0,84 Gg of N_2O e 30,17 Gg of NO_x in 2015. The total emissions estimated for 2015 correspond to a reduction of 44,3% compared to the emissions in 1990. Such decrease highlights the importance of the state legislation and of its implementation on the control of burning practiced in the sugarcane culture and on the greenhouse gas emissions reduction. This document shows that the estimates of CH_4 emissions related to the year of 1990 resulted in values 4% lower than those presented in the reference report on agricultural sector of the 1st State Inventory of Greenhouse Gas Emission, published in 2015, which was based in the application of the IPCC-1996 method, considering the year of 1990 as reference, for the period of 1990 to 2008. For the same year, the estimates of N_2O and NO_x emissions were 50% lower than those predicted with the IPCC 1996 method, while the CO emissions were 55% higher.

Key words: gas emission, inventory, climate change, methane, carbon monoxide.

Gases de Efeito Estufa da Queima de Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: 1990 a 2015

*Magda Aparecida de Lima, Alfredo José Barreto
Luiz, Marcos Corrêa Neves*

Introdução

Como signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, o Brasil tem apresentado inventários periódicos de emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Brasil, 2004, 2010, 2016), atendendo as obrigações dos países junto a esta Convenção.

Em decorrência deste compromisso, surgiram iniciativas estaduais paralelamente no sentido de assegurar um maior engajamento dos governos estaduais na questão da mudança climática global, como foi o caso dos estados de São Paulo (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011), Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2008), Paraná (PARANÁ, 2016), Acre (COSTA; AMARAL, 2014), Amazonas (AMAZONAS, 2010). Bahia (BAHIA, 2010), Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2007), Rio Grande do Sul (FEPAM, 2010), Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2013), e outros.

A Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) foi instituída pelo Governo do estado de São Paulo em 2009, através da Lei no. 13.798 de 09 de novembro de 2009 (SÃO PAULO, 2015), sendo regulamentada parcialmente pelo Decreto no. 55.947 de 24 de junho de 2010 (SÃO PAULO, 2015). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB é o órgão responsável pela coordenação dos inventários de emissão de

gases de efeito estufa no Estado, contando com a participação de várias instituições para a elaboração de relatórios de referência.

A equipe da Embrapa Meio Ambiente elaborou o relatório de Referência do Setor de Agropecuária como parte integrante do 1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeitos Estufa Diretos e Indiretos do estado de São Paulo, coordenado pelo Programa Estadual de Mudanças Climáticas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - PROCLIMA/CETESB com o apoio da Embaixada Britânica no Brasil. O relatório (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015) apresenta estimativas de emissão com base no método de 1996, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (HOUGHTON et al., 1997), e no documento *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2003) do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC) para os temas: cultivo de arroz irrigado por inundação, pecuária, solos agrícolas e queima de resíduos agrícolas, para o período de 1990 a 2008.

Com relação à queima de resíduos agrícolas (EGGLESTON et al., 2006), de que trata o presente documento, o método do IPCC de 2006 apresenta diferentes fatores de emissão de gases em relação ao *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (HOUGHTON et al., 1997). Como decorrência do uso desses métodos, as estimativas podem resultar em maiores ou menores emissões.

Em virtude da inexistência de dados históricos sobre queima de resíduos de outras culturas praticadas no Estado para as estimativas de emissão foi considerada apenas a cultura da cana-de-açúcar, que historicamente tem adotado a prática de queima de resíduos na pré-colheita.

A queima de resíduos de cana-de-açúcar produz substancial liberação de CO₂ (dióxido de carbono), a qual, entretanto, não é considerada como uma emissão líquida, pois, no ciclo seguinte da cultura, o CO₂ emitido é reabsorvido através da fotossíntese (HOUGHTON et al., 1997). Durante o processo de combustão outros gases são produzidos além do CO₂, como

CO (monóxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso) e NO_x (óxidos de nitrogênio). As proporções de emissão destes gases variam significativamente ao longo do incêndio, sendo que na fase flamejante são gerados os gases N₂O e NO_x, e os gases CO e CH₄ são formados na fase de queima lenta com predomínio de fumaça (LOBERT et al., 1990).

Este documento apresenta estimativas anuais de emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos na pré-colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, no período de 1990 a 2015, sendo em escala municipal para alguns anos (de 2006 a 2012), no intuito de atualizar o inventário estadual, utilizando o método do IPCC de 2006. Este estudo poderá servir de referência para a realização de outros inventários estaduais de emissão de gases de efeito estufa no país.

O cultivo da cana-de-açúcar no estado de São Paulo

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene pertencente ao Gênero *Saccharum*, Família *Poaceae*, da classe das Monocotiledôneas, da Ordem *Graminales*, tendo seu cultivo um ciclo médio de 4 anos. São Paulo é o principal estado produtor do Brasil, com uma produção de 423.419.511 toneladas no ano de 2015 (54,8% da produção nacional, estimada em 748.636.167 toneladas pelo Instituto Brasileiro de Geografia - IBGE para o mesmo ano (IBGE, 2016), e com uma área colhida de 5.527.560 hectares (56,6% da área colhida de cana no Brasil, estimada em 10.093.171 ha pelo IBGE (2016) (Figura 1).

A pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE não discrimina a área colhida de cana-de-açúcar por destino de uso, ou seja, não especifica se a produção se destina ao setor sucroalcooleiro, à fabricação de cachaça, de rapadura ou para alimentação animal (IBGE, 2016). Outra importante fonte de dados, a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, estima que 10% da produção de cana-de-açúcar é destinada

a outras finalidades que não ao setor sucroalcooleiro (CONAB, 2005), fração para a qual não existem estatísticas sobre a prática de queima antes da colheita. As estimativas de emissões de gases levaram em consideração a área total colhida de cana-de-açúcar conforme a base de dados da PAM do IBGE.

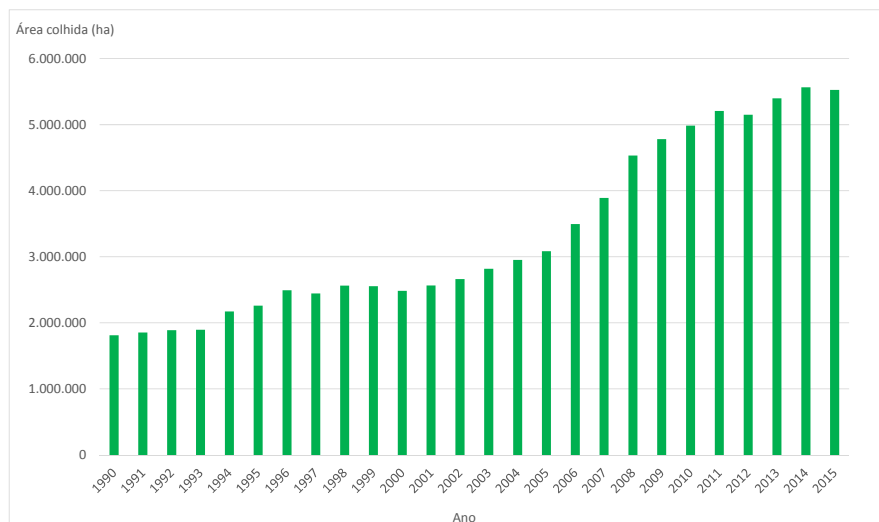


Figura 1. Evolução da área colhida de cana-de-açúcar, em hectares, no período de 1990 a 2015 no estado de São Paulo. Fonte: IBGE (2016).

Queima de resíduos de cana

A prática da queima da cana-de-açúcar tem como objetivo facilitar as operações de colheita, promovendo a eliminação das folhas. A Lei 11.241 de 2002, que dispõe sobre a exclusão da queima da palha da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, determina que nas áreas mecanizáveis (cuja inclinação é igual ou inferior a 12%), o uso do fogo deverá ser suspenso gradativamente até 2021. O Protocolo Etanol Verde, iniciativa do governo estadual e do setor sucroenergético, antecipou esse prazo

para 2014 e prevê a concessão anual de um certificado de conformidade aos produtores que adotarem boas práticas de manejo (CANASAT, 2017). Nas áreas consideradas não-mecanizáveis a queima que deveria ser totalmente eliminada até 2031 foi também antecipada para 2017.

Método de estimativa de emissão de gases de efeito estufa provenientes de queima de resíduos utilizando o método do IPCC-2006

As estimativas de emissões de gases não- CO_2 (CH_4 , CO , NO_x e N_2O) provenientes da queima de resíduos agrícolas fundamentaram-se na Equação 2.27, Capítulo 2, Volume 4 do *IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (EGGLESTON et al., 2006):

Equação 2.27 (EGGLESTON et al., 2006):

Estimativa de emissão de gases de efeito estufa a partir de queima

$$L_{\text{queima}} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{\text{ef}} \cdot 10^{-3}$$

Onde:

L_{queima} = quantidade de emissões de gases de CH_4 , N_2O , NO_x e CO a partir da queima de resíduos, em toneladas;

A = área queimada, em hectares;

M_B = biomassa disponível para combustão, em toneladas ha^{-1} ; a biomassa disponível (M_B) é obtida através da seguinte equação:

M_B = produtividade (t/ha) $\times$ relação palha/colmo (ver comentários no texto)

C_f = fator de combustão, adimensional (valor utilizado: 0,79; conforme tabela 2.6 do IPCC-2006, vol.4)

G_{ef} = fator de emissão, em g.kg^{-1} de matéria seca queimada (foram utilizados valores default da tabela 2.5 do IPCC-2006, vol. 4)

Foram realizadas estimativas de emissões dos gases CH_4 , CO , N_2O e NO_x pela queima de cana-de-açúcar na pré-colheita para o período de 1990 a 2015. Utilizou-se o Tier 2 para o cálculo das estimativas referentes à cana-de-açúcar em função da aplicação de dados experimentais de alguns parâmetros utilizados no cálculo. Fatores de emissão default foram usados nas estimativas, conforme descritos na tabela 2.5 do capítulo 2, volume 4, do IPCC (EGGLESTON et al., 2006).

Dados utilizados na estimativa da massa de carbono emitido na queima de resíduos agrícolas

Área (A) e produção de cana-de-açúcar (P)

As informações de área colhida e produção de cana-de-açúcar foram obtidas do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-LSPA (IBGE, 2016) relativas ao período de 1990 a 2015, por município, e de alguns anos - 2006 a 2012, por Região Administrativa (RA). Esses dados foram escolhidos por serem oficiais brasileiros e por estarem disponíveis para todos os anos do período e para todos os municípios do estado de São Paulo.

No período de 2006 a 2012 os dados municipais de área e de produção do IBGE continuaram a ser utilizados. Entretanto, nesse período existe a disponibilidade de dados de fração queimada de cana levantados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por meio do Projeto CANASAT- monitoramento da cana via imagens de satélite de observação da Terra, por município (CANASAT, 2017). Informações sobre dados e métodos de levantamento de colheita de cana crua ou com queima estão disponíveis em AGUIAR et al., 2011. Com relação ao período de 2013 a 2015 foram utilizados dados municipais de área e de produção do IBGE agrupados por Região Administrativa.

Relação de resíduos (palhiço/produção) (R)

Os dados relativos às estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhiço/produção de colmos foram extraídos dos relatórios de referência apresentados no 2º Inventário Nacional de Emissão de Gases de Efeito Estufa (LIMA et al., 2010a), no 1º Inventário Estadual de Emissão de Gases de Efeito Estufa (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015) e em LIMA et al. (2010b) são apresentados nas Tabelas 1 e 2 correspondendo, respectivamente, às variedades de cana-de-açúcar mais utilizadas nos anos de 1990 e 2000. As variedades listadas na Tabela 1 representavam cerca de 77% da área plantada em 1990 no estado de São Paulo (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015; GHELLER, 1996, citado por LIMA et al., 2010a; LIMA et al. 2010b). Conforme os mesmos autores, em 2000, as variedades listadas na Tabela 2 representavam 47% da área plantada no Estado, sendo que os dados médios de fração de biomassa seca de algumas variedades foram obtidos em diferentes anos de corte (cana-planta, 1º corte, 2º corte, etc.)

A relação produção de palhiço/produção de colmos (19,9%) estimada para as variedades mais plantadas no ano de 1990 (Tabela 1) foi obtida com base em determinações de Ripoli et al. (1991), Trivelin et al. (1995) e Trivelin et al. (1996), sendo aplicada nas estimativas de emissões no período de 1990 a 1996, conforme Lima et al. (2010a), Lima et al. (2010b) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2015). Esses mesmos autores estimaram o valor médio dessa relação para as principais variedades plantadas no Estado, no ano 2000 (Tabela 2), em 16,9%, com base nos dados agregados de Trivelin et al. (1995), Trivelin et al. (1996), Ripoli et al. (1996), Hassuani et al. (2005), e dados experimentais obtidos pela equipe da Embrapa Meio Ambiente, sendo este valor aplicado para o período de 1997 a 2005.

Dados recentes mostram uma maior participação de outras variedades de cana na composição das colheitas, segundo o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) (2011) (Tabela 3), com uma média ponderada de

relação produção de palhiço/produção de colmos estimada para o estado de São Paulo em 18,15%, sendo este valor aplicado para o período de 2006 a 2015.

Tabela 1. Estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhiço/produção de colmos estimadas para as principais variedades de cana-de-açúcar plantadas em 1990 no estado de São Paulo.

Variedade	Produção de palhiço (Biomassa seca, t.ha ⁻¹)	Produção de colmos (Biomassa fresca, t.ha ⁻¹)	Produção Palhiço/Produção colmos (%)	Área plantada em São Paulo, em 1990 ^b (%)	Referências
SP 70-1143	11,7	73,6	15,9	28,5	Trivelin et al. (1996); Gheller, 1996, citado por Lima et al., 2010a
SP 70-1143	24,0	121,0	19,8	-	Trivelin et al. (1995)
SP 71-1406	22,3	73,67	30,2	22,1	Ripoli et al. (1996); Gheller, 1996, citado por Lima et al., 2010a
NA 56-79	13,7	67,2	20,3	14,6	Ripoli et al. (1996); Gheller, 1996, citado por Lima et al., 2010a
SP 71-6163	23,9	108,0	22,2	11,6	Ripoli et al. (1996); Gheller, 1996, citado por Lima et al., 2010a
SP 71-6163	18,4	95,1	19,4	-	Ripoli et al. (1996)
SP 71-6163	17,0	82,5	20,6	-	Ripoli et al. (1996)
SP 71-1406	23,3	136,6	17,0	-	Ripoli et al. (1996)
SP 71-1406	9,5	68,6	13,8	-	Ripoli et al. (1996)
Média	18,2 ± 5,6	91,8 ± 25,1	19,9 ± 4,7	76,8	

Fonte: Lima et al. (2010a); Lima et al. (2010b); Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2015).

Tabela 2. Estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhico/produção de colmos estimadas para as principais variedades de cana-de-açúcar plantadas em 2000 no estado de São Paulo.

Variedade	Estágio do corte	Produção de palhico (Biomassa seca)	Produção de colmos (Biomassa fresca)	Produção palhico/ Produção colmos	% da área plantada em São Paulo, no ano 2000
		(t ha ⁻¹)	(%)		
SP 70-1143	-	11,7	73,6	15,9	5,8
SP 70-1143	-	24,0	121,0	19,8	-
SP 71-1406	-	22,3	73,67	30,2	0,3
NA 56-79	-	13,7	67,2	20,3	-
SP 71-6163	-	23,9	108,0	22,2	0,6
SP 71-6163	-	18,4	95,1	19,4	-
SP 71-6163	-	17,0	82,5	20,6	-
SP 71-1406	-	23,3	136,6	17,0	-
SP 71-1406	-	9,5	68,6	13,8	-
SP 79-1011	Cana planta	17,8	120	14,8	8,6
SP 79-1011	2º. Corte	15,0	92	16,3	-
SP 79-1011	4º. Corte	13,7	84	16,3	-
SP 80-1842	Cana planta	14,6	136	10,7	0,8
SP 80-1842	2º. Corte	12,6	101	12,5	-
SP 80-1842	4º. Corte	10,5	92	11,4	-
RB 72454	Cana planta	17,2	134	12,8	18,4
RB 72454	1º. Corte	14,9	100	14,9	-
RB 72454	5º. Corte	13,6	78	17,4	-
SP 83-2847	5º. Corte	17,4	102	17	0,3
SP 80-1816	Média de 5 cortes e em dois solos	13,4	90	14,8	10,8 (SP 80 + RB 85 + RB 83)
RB 82-5486					
RB 83-5486					
RB 85-5453					
Média		16,2 ± 4,4	97,8± 22,2	16,9 ± 4,4	

Fonte: Lima et al. (2010a).

Tabela 3. Estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhicho/produção de colmos estimadas para as principais variedades de cana-de-açúcar plantadas em 2011 no estado de São Paulo.

Variedades	Cultivo no estado de SP (%)	Palhicho (t.ha ⁻¹) (Biomassa seca)	Colmo (t.ha ⁻¹) (Biomassa fresca)	Relação palhicho/colmo	Referências
RB 86-7515	23,0	17,4	82,6	0,211	Marques e Pinto (2013)
SP 81-3250	14,0	15,3	103,6	0,148	Tasso Junior et al. (2011)
RB 85-5453	9,0	13,4	90,0	0,149	Hassuani et al. (2005)
SP 83-2847	5,0	14,1	77,2	0,183	Hassuani et al. (2005)
Outras	49,0	14,1	77,2	0,183	Hassuani et al. (2005)
Média ponderada				0,182	

Tabela adaptada de Packer et al. (2014).

Relação Nitrogênio/Carbono

Os teores médios de carbono ($42,46 \pm 2,1\%$), nitrogênio ($1,27 \pm 0,5\%$) foram adotados com base nas determinações de Ripoli et al. (1991), Trivelin et al. (1995) e Trivelin et al. (1996), que resultou numa relação N/C de $1,27/42,46 = 0,0299$, sendo este valor utilizado para todo o período (1990 a 2015) (LIMA et al., 2010a; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015). Dados mais específicos para variedades mais recentemente plantadas poderão ser utilizados, quando disponíveis.

Fração queimada no campo, em % (Fq)

Com relação ao período de 1990 a 1995, considerou-se que a biomassa da cana-de-açúcar produzida no Estado foi totalmente exposta à queima, conforme Lima et al. (2010a, 2010b) e Companhia Ambiental do Estado

de São Paulo (2015). Segundo os mesmos autores, em 1996, a adoção de colheita mecanizada, sem queima, foi estimada em 10% da área total plantada no estado de São Paulo, concentrada na região de Ribeirão Preto (SILVA, 1997). Ainda, de acordo com os autores citados, no período de 1997 a 2002 foram utilizados dados do IDEA News (2002), com interpolação para valores em anos intermediários (1998, 2001, 2002), enquanto as informações sobre a área colhida de cana crua do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) no período de 2003 a 2005 no estado de São Paulo foram apresentadas por Kitayama (2008) (Tabela 4).

Tabela 4. Evolução da área de cana-de-açúcar colhida mecanicamente, no período de 1996 a 2007 no estado de São Paulo.

Ano	% de área colhida de cana crua	Referência
1990-1995	0	Estimado
1996	10	Silva (1997)
1997	17,8	IDEA NEWS (2002)
1998	20	Estimado
1999	22,3	IDEA NEWS (2002)
2000	30,5	IDEA NEWS (2002)
2001	29	Estimado
2002	28	Estimado
2003	26	Kitayama (2008)
2004	28	Kitayama (2008)
2005	28	Kitayama (2008)
2006	34,2	INPE (Projeto CANASAT)
2007	46,6	INPE (Projeto CANASAT)
2008	49,1	INPE (Projeto CANASAT)
2009	55,6	INPE (Projeto CANASAT)
2010	55,6	INPE (Projeto CANASAT)
2011	65,2	INPE (Projeto CANASAT)
2012	72,6	INPE (Projeto CANASAT)
2013	73,5	Estimado por projeção
2014	76,7	Estimado por projeção
2015	79,5	Estimado por projeção

Fonte: Levantamento de 1990-2005 apresentado por Lima et al. (2010a), Lima et al. (2010b) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2015). Dados de 2006 a 2012 disponibilizados pelo Projeto CANASAT/INPE. 2016; Dados de 2013 e 2015, apresentados pelos autores.

No âmbito do projeto CANASAT foram medidas, a partir de imagens de satélites, as áreas colhidas de cana-de-açúcar crua e com queima (AGUIAR et al., 2011), cujas informações estão disponibilizadas no banco de dados do CANASAT (2017). No entanto, os dados de percentual de área colhida com queima não estão disponíveis para todos os municípios nem para todos os anos, cobrindo apenas o período de 2006 a 2012. Este trabalho considerou os valores de percentual de queima por município nos casos em que estavam disponíveis. Isso porque, mesmo de 2006 a 2012, o CANASAT não estimou esses valores para todos os municípios do estado de São Paulo. Não existem na literatura percentuais publicados por município para os anos seguintes.

Nas 11 Regiões Administrativas (RA) do estado de São Paulo em que constam registros de área colhida crua e com queima no CANASAT, foram ajustadas equações exponenciais entre o percentual anual de cana-de-açúcar colhida com queima e os anos, por RA. Foi ajustada, também, uma equação exponencial para o Estado como um todo (Figura 2), que foi utilizada em todos os demais municípios do Estado para os quais o IBGE registrou área colhida de cana, mas que estão localizados em RAs não levantadas pelo CANASAT. O ano de 2005 foi considerado como ano 0 (zero) e os demais anos como 1, 2, 3 etc., sendo ajustado o modelo exponencial:

$$y = \text{alfa} \cdot e^{(\text{beta} \cdot x)}, \text{ onde } x = (\text{ano}-2005)$$

Os dados municipais foram reunidos nas Regiões Administrativas (RA) para evitar a contaminação de variações reais ou espúrias que podem acontecer em municípios individualmente. Ou seja, no caso de eventos climáticos extremos ou de renovação, atraso ou antecipação na colheita, que afetem uma grande área em um município, isso poderia afetar o valor registrado pelo IBGE para área colhida em um ano, de forma que não refletisse o comportamento normal e, principalmente, a tendência temporal da redução do percentual queimado. Como esses erros acontecem de forma independente de um município para o outro e podem ser igualmente distribuídos para mais ou para menos, na soma dos

valores dos vários municípios que compõem uma RA, esses erros tendem a se anular, reduzindo as flutuações. Dessa forma, foi possível elaborar uma série com os dados observados e ajustar um modelo (Figura 2), a partir do qual foram estimados os percentuais para os anos em que não houve a disponibilização do percentual de queima.

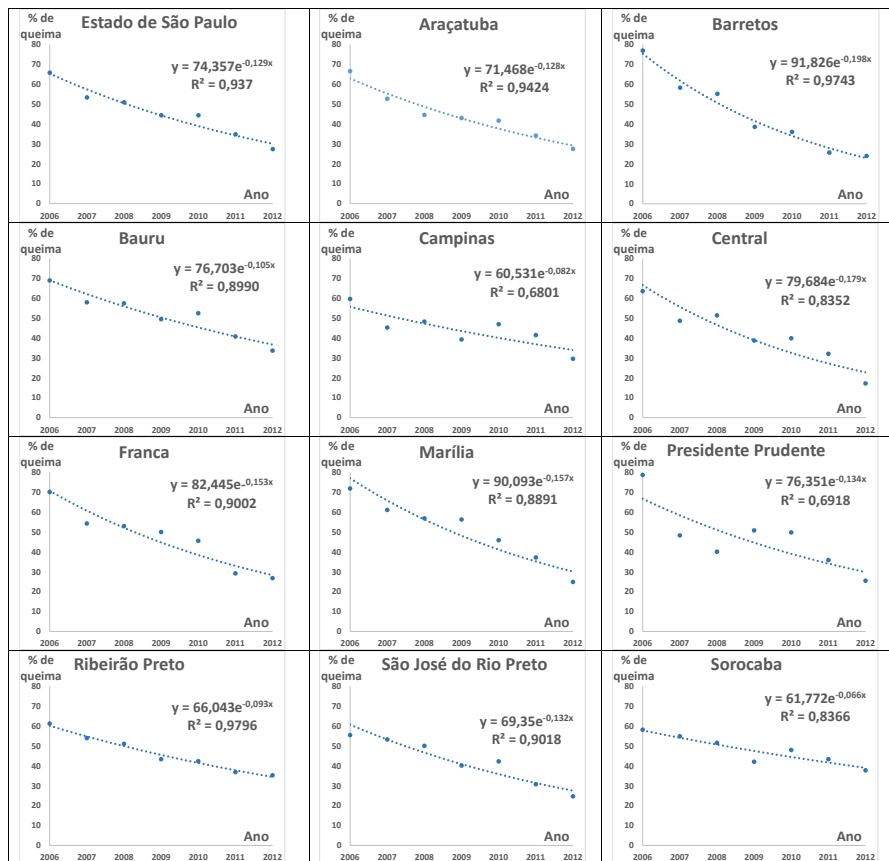


Figura 2. Percentual de área de cana colhida com queima, observada (círculos) e ajustada pelo modelo exponencial (linha pontilhada), para o estado de São Paulo, e para as Regiões Administrativas de Araçatuba, Barretos, Bauru, Campinas, Região Central, Franca, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Sorocaba.

Os valores ajustados para cada RA e para o Estado, dão uma noção do percentual inicial de área com queima (alfa) e da velocidade da redução desse valor (beta). O valor de alfa representa o valor inicial de área colhida com queima. O valor de beta indica a velocidade de redução dessa área inicial, nesse modelo, quanto mais negativo o valor, maior a velocidade. Por exemplo, a região de Barretos foi a que iniciou com o maior percentual de área com queima (alfa = 91,828) e também a que está reduzindo na maior velocidade (beta = -0,198). Já a região de Campinas foi a que tinha a menor proporção de queima no ano de 2006 (alfa = 60,531) e a de Sorocaba a que vem reduzindo na menor velocidade (beta = -0,066). É importante ressaltar que todos os modelos ajustados foram estatisticamente significativos e que o coeficiente de determinação (r^2) assumiu valores considerados altos (todos maiores que 0,68, sendo 10 dos 12 maiores que 0,83).

Nos municípios em que o IBGE registrou área colhida de cana-de-açúcar, os quais estão localizados em RAs cujos dados não foram calculados pelo CANASAT, foram adotados os valores de percentual de queima iguais aos da média estadual de 2006 a 2012. De posse das equações ajustadas, os valores médios do percentual de queima foram estimados para as RAs analisadas pelo CANASAT e para todo o Estado nos anos de 2013 a 2015. Esses valores e os das demais RAs são apresentados na Tabela 5. Nessa tabela é possível observar que, embora a percentagem inicial de área colhida com queima seja diferente para cada RA (variando de 55,5%, em São José do Rio Preto, até 78,7% em Presidente Prudente), ela vem sofrendo uma redução inequívoca e acentuada em todas as regiões. Em média, no estado de São Paulo, o percentual de queima foi reduzido de 65,8% para 20,5%. Apesar disso, ainda há uma sensível variação entre os percentuais em cada região (de 12,7% em Barretos, para 31,9% em Sorocaba).

Tabela 5. Percentual da área de cana-de-açúcar colhida com queima, de 2006 a 2015, por Região Administrativa (RA) e para o estado de São Paulo.

RA	Área de cana-de-açúcar colhida com queima (%)*									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Araçatuba	66,6	52,7	44,6	43,0	41,7	34,2	27,5	25,7	22,6	19,9
Barretos	76,9	58,3	55,2	38,6	36,1	25,7	24,0	18,8	15,5	12,7
Bauru	69,0	58,0	57,5	49,5	52,5	40,8	33,7	33,1	29,8	26,8
Campinas	59,7	45,3	48,3	39,3	47,0	41,5	29,6	31,4	28,9	26,7
Central	63,6	48,7	51,4	38,8	39,9	32,1	17,2	19,0	15,9	13,3
Franca	70,1	54,3	53,0	50,0	45,6	29,2	26,8	24,2	20,8	17,9
Marília	71,9	61,1	56,9	56,3	45,9	37,2	24,9	25,7	21,9	18,7
Presidente Prudente	78,7	48,3	40,1	50,8	49,8	35,9	25,5	19,0	15,9	13,3
Ribeirão Preto	61,3	54,0	51,1	43,4	42,4	36,9	35,3	31,4	28,6	26,1
São José do Rio Preto	55,5	53,3	50,1	40,2	42,3	30,8	24,7	24,1	21,1	18,5
Sorocaba	58,2	54,9	51,6	42,1	48,0	43,4	37,8	36,4	34,1	31,9
Estado de São Paulo	65,8	53,4	50,9	44,4	44,4	34,8	27,4	26,5	23,3	20,5

* Até 2012 os valores representam medidas feitas por município no âmbito do projeto CANASAT (AGUIAR et al., 2011), após 2013 os valores foram estimados pelos autores, por RA e para o Estado.

Finalmente a área colhida com queima em cada município é resultado da área colhida registrada pelo IBGE multiplicada pelo percentual colhido com queima, medido pelo CANASAT ou estimado neste trabalho, da RA a que pertence o município.

Fração oxidada do resíduo durante a queima (Ro)

Conforme descrito por Lima et al. (2010a), Lima et al. (2010b) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2015), a fração de biomassa seca efetivamente oxidada (79%) foi determinada em experimento de campo pela equipe da Embrapa Meio Ambiente para a variedade SP 71-6163, no 4o ciclo, com material coletado antes e após a queima ocorrida em abril de 1997, em parcela da Usina Santa Elisa, no Município de Sertãozinho, SP. Dados obtidos nesse experimento estão apresentados na Tabela 6, assim como dados obtidos por Macedo (1997).

Tabela 6. Biomassa seca, eficiência da queima e produtividade de cana-de-açúcar.

	Palhico	Macedo (1997) Biomassa seca (t.ha ⁻¹)	Embrapa Meio Ambiente Biomassa seca (t.ha ⁻¹)
Material exposto à queima	folhas secas (a)	10,1	7,5
	folhas verdes e pontas (b)	3,8	4,9
	total (T)	13,9	12,4
	Biomassa total oxidada (bto)	11,0	9,8
	Eficiência da queima (bto/T) * 100	79,0	79,0
	Produtividade de cana	87,9	86,0

Fonte: Lima et al. (2010a), Lima et al. (2010b) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2015).

Taxas de emissão e fatores de conversão

As quantidades de CO, CH₄, N₂O e NO_x são estimadas a partir da multiplicação das massas de Carbono (C_{massa}) ou de Nitrogênio (N_{massa}) pelas taxas de emissão e fatores de conversão para cada gás, apresentados na Tabela 7. Diferentes fatores de emissão de gases de efeito estufa relacionados à queima de resíduos agrícolas têm sido registrados na literatura. Para o presente inventário, foram utilizados fatores de emissão sugeridos pelo IPCC-2006 (Tabela 7), com base em estudo desenvolvido por ANDREAE e MERLET (2001). Esses fatores são inferiores aos indicados pelo IPCC-1996, com exceção do fator para monóxido de carbono. Outros estudos apontam para valores ainda menores, como o de Jenkins et al. (1995), o qual se baseou especificamente em resíduos de cana-de-açúcar.

Tabela 7. Fatores de emissão de CH₄, CO, NO_x e N₂O provenientes da matéria seca queimada de resíduos agrícolas (G_{ef}) segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática- Houghton et al. (1997), Eggleston et al. (2006), Estados Unidos (1990) e Jenkins et al. (1995).

Referência	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x
	g gas /kg biomassa seca queimada			
IPCC-1996	2,8	59	0,14	5
IPCC-2006	2,7	92 ± 84	0,07	2,5 ± 1
USEPA	(0,6 a 2)	(30 a 41)	--	--
JENKINS	0,41	25	--	1,4

**Estimativas de emissões de CO,
CH₄, N₂O e NO_x provenientes da
queima de resíduos na pré-colheita
de cana-de-açúcar**

Os cálculos efetuados para as estimativas de emissões de CO, CH₄, N₂O e NO_x provenientes da queima de resíduos na pré-colheita de cana-de-açúcar seguiram as recomendações do método de 2006 (EGGLESTON et al., 2006) e do Guia de Boas Práticas do IPCC (PENMAN et al., 2000). As estimativas das emissões totais de CO, CH₄, N₂O e NO_x provenientes da queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1990 a 2015 com base no método do IPCC (EGGLESTON et al., 2006) são apresentadas na Tabela 8.

Na Figura 3 apresenta-se a distribuição da produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo nos anos de 2006 e 2015, e, na Figura 4, a distribuição das emissões de CO, CH₄, N₂O e NO_x estimadas para os mesmos anos. Em 2006, 469 municípios paulistas colheram cana-de-açúcar, enquanto que em 2015 esse número foi de 508, do total de 645 municípios existentes no Estado. Nota-se a maior densidade de áreas de cultura na região nordeste do Estado, e consequentemente, maior quantidade emitida de gases, sobretudo em 2006, quando havia ainda grande incidência de queima de canaviais na pré-colheita. Em 2015,

a prática de colheita de cana-de-açúcar, colhida crua, fica bastante evidente, e apresenta o efeito progressivo da legislação de controle de queimadas.

Tabela 8. Estimativas de emissão de CO, CH₄, N₂O e NO_x provenientes da queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo para o período de 1990 a 2015.

Ano	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x
Gg				
1990	58,51	1993,55	1,52	54,17
1991	57,81	1969,90	1,50	53,53
1992	61,76	2104,41	1,60	57,19
1993	63,10	2149,93	1,64	58,42
1994	73,90	2518,06	1,92	68,43
1995	74,26	2530,50	1,93	68,76
1996	73,47	2503,43	1,90	68,03
1997	58,51	1993,76	1,52	54,18
1998	58,64	1997,98	1,52	54,29
1999	56,20	1914,91	1,46	52,04
2000	48,20	1642,41	1,25	44,63
2001	51,82	1765,66	1,34	47,98
2002	56,19	1914,51	1,46	52,02
2003	61,89	2108,98	1,60	57,31
2004	63,27	2155,92	1,64	58,58
2005	67,31	2293,46	1,75	62,32
2006	74,81	2532,34	1,93	68,81
2007	67,78	2309,68	1,76	62,76
2008	76,93	2621,31	1,99	71,23
2009	69,77	2377,26	1,81	64,60
2010	70,28	2394,81	1,82	65,08
2011	57,34	1953,84	1,49	53,09
2012	43,76	1491,03	1,13	40,52
2013	43,18	1471,29	1,12	39,98
2014	34,94	1190,71	0,91	32,36
2015	32,58	1110,14	0,84	30,17

Fonte: Valores estimados pelos autores.

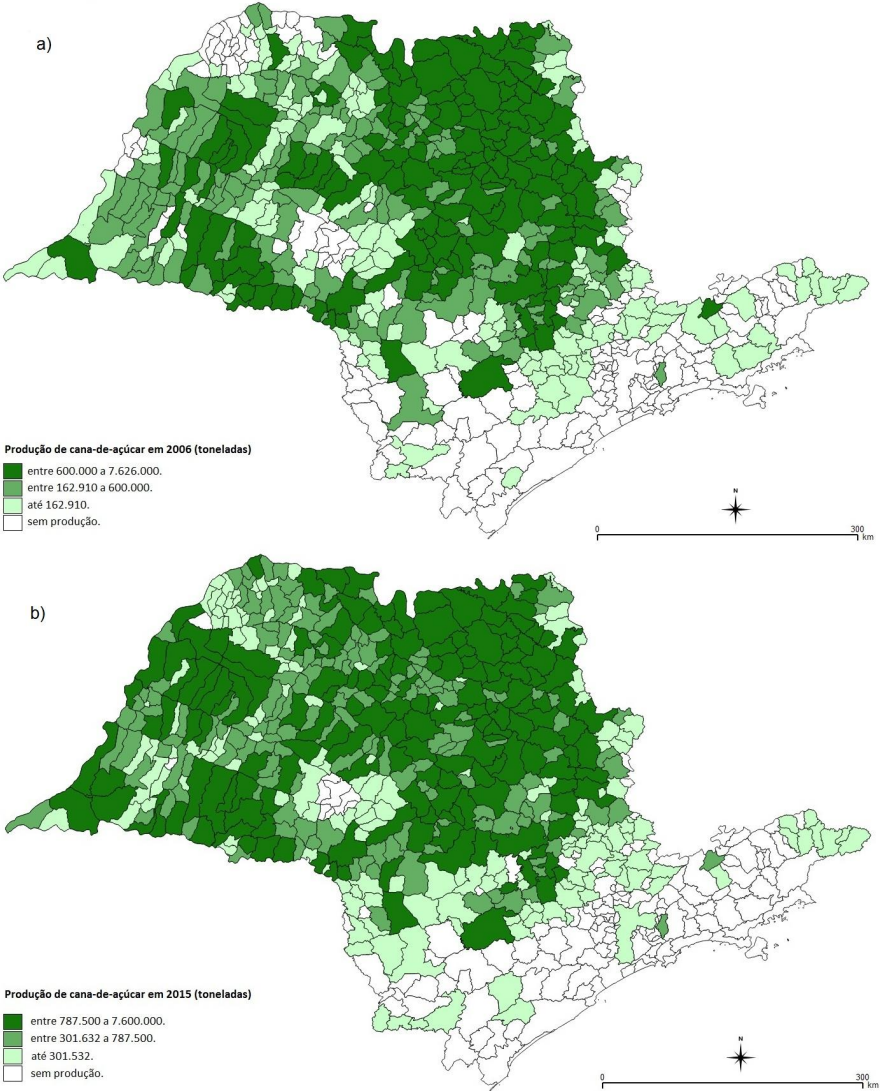


Figura 3. Distribuição da produção municipal de cana-de-açúcar no estado de São Paulo nos anos de 2006(a) e de 2015(b). Fonte: IBGE (2016).

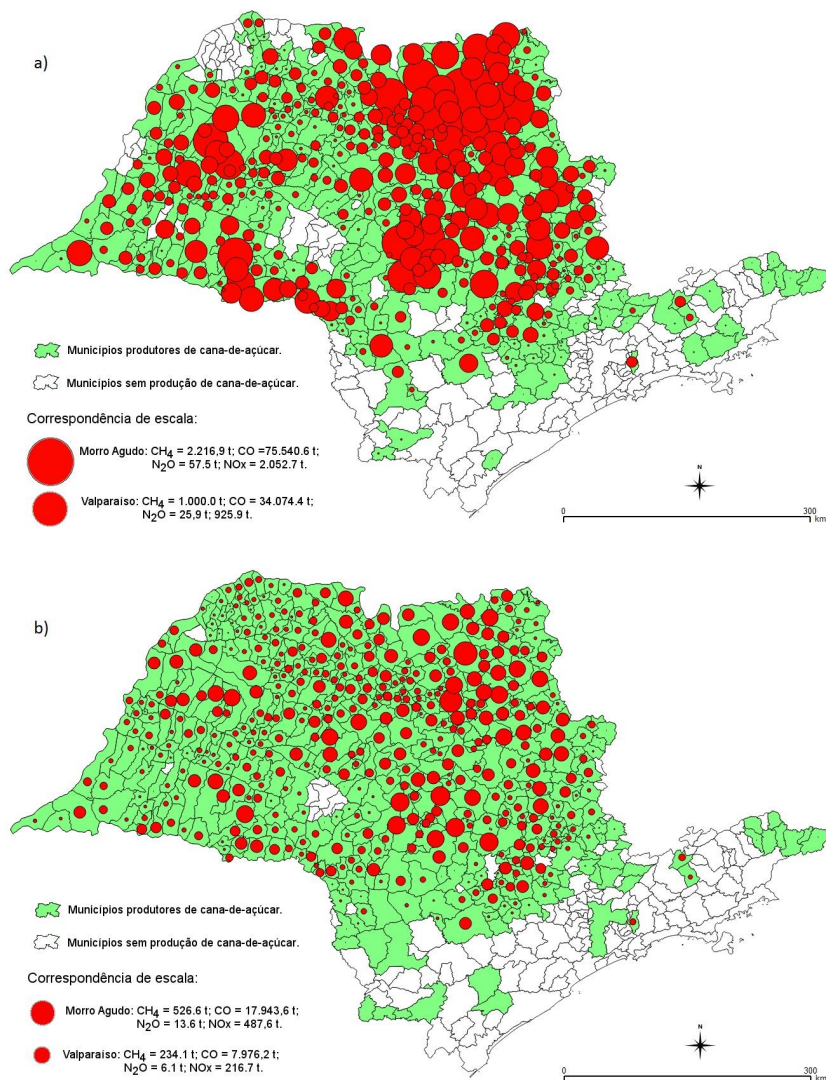


Figura 4. Distribuição da emissão municipal de CH_4 , CO , N_2O e de NO_x provenientes da queima de cana-de-açúcar na pré-colheita no estado de São Paulo no ano de 2006 (a) e de 2015 (b), segundo o método do IPCC-2006.

Considerações finais

A área colhida de cana-de-açúcar no estado de São Paulo aumentou significativamente em 205% entre 1990 e 2015, com um aumento de 207% na produção, grande parte devido ao melhoramento genético. Apesar disso, houve uma redução de 44,3% nas emissões estimadas de CH_4 , CO , N_2O e NO_x , fato atribuído à progressiva diminuição da prática de queima na pré-colheita no Estado. A utilização da queima tende a ser ainda mais reduzida no estado de São Paulo, principal estado produtor, principalmente em consequência à Lei 11.241 de 2002, na qual é prevista a suspensão da queima dessa cultura em áreas mecanizáveis (terrenos com declividades iguais ou inferiores a 12%) até 2021.

As estimativas realizadas foram derivadas de dados obtidos por outras instituições. Os dados de área colhida utilizados nesta pesquisa são dados oficiais gerados pelo órgão responsável pelas estatísticas agrícolas brasileiras – IBGE, e os dados de queima de cana-de-açúcar foram produzidos pelo INPE e publicados, sem contestação que se conheça, em diversas oportunidades, e, segundo opinião de especialistas, são os melhores dados disponíveis. Entretanto, é importante ressaltar que, como toda estimativa, o resultado final é a melhor aproximação do valor real, mas não o exato valor real. Com base na tendência de redução da prática da queima observada em todas as regiões do Estado, pode-se assumir que os valores aqui apresentados não estão distantes daqueles realmente praticados.

O impacto da aplicação do método do IPCC sobre as estimativas estaduais de emissões de gases foi notório e, à medida que novos estudos sobre fatores de emissão específicos para cana-de-açúcar tornarem-se disponíveis, será possível aprimorar ainda mais as estimativas.

Referências

- 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 state, Brazil. **Remote Sensing**, v. 3, n. 12, p. 2682-2703, 2011.
- AMAZONAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Centro Estadual de Mudanças Climáticas. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa do setor elétrico do Estado do Amazonas: 2002-2008**. Manaus, 2010. 102 p.
- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v.15, n.4, p.955-966, 2001.
- BAHIA. Secretaria do Meio Ambiente do Estado. **Primeiro inventário de emissões antrópicas de gases do efeito estufa do Estado da Bahia**. [S.l.], 2010. 7 p.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de metano do cultivo de arroz: relatórios de referência: agropecuária: primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília, DF, 2004.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. **Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal: parte 2**. Brasília, DF, 2010. 154 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0214/214061.pdf>. Acesso em: 2 out. 2014.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF, 2016. v. 3, 135 p.
- CANASAT: monitoramento da cana-de-açúcar via imagens de satélite. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Censo Varietal e de Produtividade em 2011**. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC_Censo2011-12baixa.pdf>. Acesso em: 31 out. 2016.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo, 1: comunicação estadual**. - 2.ed. - São Paulo, 2011. 192 p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo: emissões do setor de agropecuária**. São Paulo, 2015. 174 p.
- CONAB (Brasil). **Cana-de-açúcar - Safra 2005/2006: segundo levantamento: agosto de 2005**. 2005, 14p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/safracana_de_acucaragosto2005.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2014.
- COSTA, F. de S.; AMARAL, E. F. de (Ed.). **Inventário de emissões antrópicas e sumidouros de gases de efeito estufa do estado do Acre: ano-base 2012**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 98 p. il. color.
- EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **2006 IPCC Guidelines for National greenhouse Gas Inventories**. Japan: IGES, 2006. 5 v.

ESPÍRITO SANTO. **Sumário executivo do inventário de emissão de gases de efeito estufa do estado do Espírito Santo**. Vitória, 2013. 22 p.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency. **Greenhouse gas emissions from agricultural systems**: summary report. Washington, 1990. v. 1, p. 1-33.

FEPAM. **Inventário das emissões de gases de efeito estufa do Rio Grande do Sul 2005**. Porto Alegre, 2010. 58 p. Disponível em: <http://inventariogeesp.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/30/2014/04/Inventario_GEE_RS_2005_PACE_RS_2010_FEPAM.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2016.

GHELLER, A. C. A. Variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de São Paulo em 1995 - Censo varietal. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., Maceió, 1996, **Anais...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 173-180.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba: PNUD-CTC, 2005. 216 p. (Série Caminhos para Sustentabilidade).

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; LIM, B.; TRÉANTON, K.; MAMATY, I.; BONDUKI, Y.; GRIGGS, D. J.; CALLANDER, B. A. (Ed.). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories**. Paris: IPCC: OECD, 1997. 3 v.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Eletrônica (SIDRA)**. Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA). Rio de Janeiro: IBGE, 1990-2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>> Acesso em: nov. 2016.

JENKINS, B. M.; TURN, S. Q.; WILLIAMS, R. B.; GORONEA, M.; ABD-EL-FATTAH, H.; MEHLSCHAU, N.; RAUBACH, N.; WHALEN, S. A.; CHANG, D. P. Y.; KANG, M.; TEAGUE, S. V.; RAABE, O. G.; CAMPBELL, D. E.; CAHILL, T. A.; PRITCHETT, L.; CHOW, J.; JONES, A. D. **Atmospheric pollutant emission factors from open burning of sugar cane by wind tunnel simulations**. Final report. Davis: University of California, 1995. Prepared for the Hawaiian Sugar Planter's Association, Aiea, Hawaii.

KITAYAMA, O. **Situação atual e perspectivas de expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil e no mundo**. Palestra apresentada na OFICINA ANA - Agência Nacional da Água. Disponível em: <www.ana.gov.br/SalImprensa/doc_oficina/UNICA.pps>. Acesso em: 3 fev. 2008.

LIMA, M. A.; LIGO, M. A. V.; PESSOA, M. C. P. Y.; NEVES, M. C.; CARVALHO, E. C. **Emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia: Embrapa, 2010a. 65 p.

LIMA, M. A.; LIGO, M. A. V.; CARVALHO, E. C.; PESSOA, M. C. P. Y. **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2010b. 23 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 83).

LOBERT, J. M.; SCHARFFE, D. H.; HAO, W. M.; CRUTZEN; P. J. Importance of biomass burning in the atmospheric budgets of nitrogen-containing gases. **Nature**, v. 346, n. 6284, p. 552-554, 1990.

MACEDO, I. C. **Greenhouse gas emissions and avoided emissions in the production and utilization of sugar cane, sugar and ethanol in Brazil: 1990-1994**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. 25 p. (RT-CTC-002/97).

MINAS GERAIS (Estado). Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2008. 120 p.

PACKER, A. P. C.; VILELA, V. A. A.; DEGASPARI, I. A. M.; RAMOS, N. P. **Emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia: Embrapa, 2014. 56 p.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Inventário de emissões antrópicas diretas e indiretas de gases de efeito estufa do estado do Paraná 2005-2012**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

PENMAN, J.; KRUGER, D.; GALBALLY, I.; HIRAISHI, T.; NYENZI, B.; ENMANUEL, S.; BUENDIA, L.; HOPPAUS, R.; MARTINSEN, T.; MEIJER, J.; MIWA, K.; TANABE, K. (Ed.). **Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama: IPCC: IGES, 2000.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente, COPPE/CLIMA. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2007. 307 p.

RIPOLI, T. C.; MOLINA JUNIOR, W. F.; STUPIELLO, J. P.; NOGUEIRA, M. C.; SACCOMANO, J. B. **Potencial energético de resíduos de cosecha de la caña verde**. STAB, v. 10, n. 1, p. 22-26, 1991.

RIPOLI, T. C.; STUPIELLO, J. P.; CARUSO, J. G. B.; ZOTELLI, H.; AMARAL, J. R. Efeito da queima na exsudação dos colmos: resultados preliminares. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6, 1996, Maceió. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 63-70.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 55.947, 24 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Mudanças Climáticas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, 25 maio 2010. Seção 1, p. 1-5. Disponível em: <<http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20100625&Caderno=DOEI&NumeroPagina=1>>. Acesso em: 2 dez. 2015.

SILVA, G. M. A. Cana crua x cana queimada: restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 2., Piracicaba, 1997. **Resumos...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 55-57.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia - ^{15}N e uréia - ^{15}N aplicada ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P. C. O.; RODRIGUES, J. C. S.; VICTORIA, R. L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia - ^{15}N aplicada ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

