

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E  
VETERINÁRIAS CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INVENTÁRIO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA  
ASSOCIADO AO MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA  
LOCALIDADE DE BARRETOS-SP, BRASIL**

**Willians Luiz Bueno de Souza**

Físico

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE  
MESQUITA FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS CAMPUS DE  
JABOTICABAL**

**INVENTÁRIO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADO  
AO MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA LOCALIDADE DE  
BARRETOS-SP, BRASIL**

**Willians Luiz Bueno de Souza**

**Orientador: Prof. Dr. Newton La Scala Júnior**

**Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Barretto de Figueiredo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SP  
Fevereiro – 2013

Souza, Willians Luiz Bueno de  
S729i Inventário dos gases de efeito estufa associado ao manejo da cana-  
de-açúcar na localidade de Barretos-SP, Brasil / Willians Luiz Bueno  
de Souza. -- Jaboticabal, 2013  
xv, 49 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013  
Orientador: Newton La Scala Júnior  
Coorientador: Eduardo Barretto de Figueiredo  
Banca examinadora: Glauco de Souza Rolim, Janaína Braga do  
Carmo  
Bibliografia

1. Cana crua. 2. Cana queimada. 3. Efeito estufa. 4. Inventário de  
emissões. 5. Mudanças climáticas. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade  
de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 551.588.74

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da  
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de  
Jaboticabal. e-mail: williansbueno@gmail.com



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE JABOTICABAL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** INVENTÁRIO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADO AO MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA LOCALIDADE DE BARRETOS-SP, BRASIL

**AUTOR:** WILLIANS LUIZ BUENO DE SOUZA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. EDUARDO BARRETTO DE FIGUEIREDO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof.ª/Dra. JANAINA BRAGA DO CARMO

Universidade Federal de São Carlos / Sorocaba/SP

Data da realização: 22 de fevereiro de 2013.

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**Willians Luiz Bueno de Souza** – Filho de Luiz Elpídio Bueno de Souza e Jussara Bueno de Souza nasceu em Barretos, São Paulo, no dia 01 de julho de 1978. Em fevereiro de 1998, ingressou no Curso de Licenciatura plena em Física pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – SP. Atua como docente no ensino superior há 5 anos na Universidade do Estado de Minas Gerais, onde leciona nos cursos de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira e Bacharelado em Administração, e a 3 anos no Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, onde leciona no curso de Bacharelado em Sistemas de Informação, atualmente tem se dedicado a estudar os temas: manejo da cana-de-açúcar, aquecimento global, inventário de gases de efeito estufa e bioenergia. Possui Especialização em Didática do Ensino Superior pelas Faculdades Integradas Soares de Oliveira – FISO (2008). Em março de 2011, ingressou no Curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – SP. No mês de fevereiro de 2013, submeteu-se à banca para a defesa de Dissertação, sendo aprovado como Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

*“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe”.*

**Leonardo da Vinci**

## **DEDICO**

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida por ter me proporcionando saúde, perseverança e momentos especiais ao longo da vida.

Aos meus pais, Luiz Elpídio Bueno de Souza e Jussara Bueno de Souza (*in memoriam*) pelo carinho e amor incondicional, dedicação, suporte e credibilidade, sempre me impulsionando em direção aos meus objetivos.

## **OFEREÇO**

Ao meu irmão Carlos Alberto Bueno de Souza (*in memoriam*), à minha namorada Tatiane Loureiro Alves Garcia, por tudo o que passamos juntos com muito amor, carinho, dedicação e principalmente superação.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pelas bênçãos e por providencialmente me dar força e resignação, tirando as pedras do meu caminho.

Aos meus pais, a quem devo a minha existência, que sempre me incentivaram e me deram força ao longo da minha vida, sem os quais com certeza eu não chegaria onde estou, obrigado por todo o amor, carinho, educação e suporte.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP – Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, da qual me orgulho muito, por ser uma respeitada Universidade e ter me proporcionado esta oportunidade.

Ao meu orientador Professor Newton La Scala Júnior pelos ensinamentos, paciência, companheirismo, confiança e, principalmente por ser um profissional respeitável e ético, agradeço a oportunidade e amizade ao longo desta etapa.

Ao meu coorientador professor Dr. Eduardo Barretto de Figueiredo, pela amizade, parceria profissional e pelas conversas que me ajudaram no entendimento de vários pontos da pesquisa.

Aos professores membros da Banca de Qualificação, Marcílio Vieira Martins Filho e Teresa Cristina Tarlé Pissarra, cujas críticas e sugestões contribuíram para a melhoria do presente estudo.

Aos membros da Banca de Defesa, Professor Glauco de Souza Rolim e a Professora Janaína Braga do Carmo, que disponibilizaram seu precioso tempo para ajudar neste estudo, pelas críticas e sugestões que contribuíram para o enriquecimento do trabalho. Deixo aqui toda a minha gratidão e admiração pelos senhores.

Aos amigos e companheiros do Departamento de Ciências Exatas, Luciano Ito Perillo, Mara Regina Moitinho, Sísara Rocha Oliveira, João Fernandes da Silva Júnior e Daniel De Bortoli Teixeira, por toda a ajuda, camaradagem, conversas e momentos vividos durante esses anos.

Aos pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Bernardo Friedrich Theodor Rudorff, Daniel Alves Aguiar, Márcio Pupin Mello e Marcos Adami, pela amizade, conversas, ideias e parceria nesta e em futuras publicações.

Aos amigos Dr. Eduardo Barretto de Figueiredo, Dr. Alan Rodrigo Panosso, Diego Silva Siqueira e Ricardo de Oliveira Bordonal, pela confiança, bom convívio, conversas, incentivos e principalmente pela amizade conquistada.

Ao meu irmão (*in memoriam*) Carlos Alberto Bueno de Souza, pela amizade, carinho e companheirismo enquanto aqui presente.

À minha namorada, amiga e sempre parceira Tatiane Loureiro Alves Garcia, que sempre esteve ao meu lado nos momentos de alegria e tristeza, principalmente pelo carinho, incentivo e companheirismo.

Ao meu sogro Marco Antônio Alves Garcia e sogra Júlia Aparecida Loureiro, pela amizade, apoio e incentivo.

Aos meus afilhados e cunhados, Pedro Tasca Júnior e Bruna Loureiro Alves Garcia, pela amizade, ótimos momentos de convivência e companheirismo.

E a todos, que de alguma forma direta ou indireta contribuíram e incentivaram minha formação pessoal e profissional ao longo desta jornada.

**Meu Sincero Obrigado.**

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 EFEITO ESTUFA E A AGRICULTURA .....	4
2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS NA AGRICULTURA .....	6
2.3 O FATOR AMBIENTAL NO SETOR SUCROALCOOLEIRO .....	8
2.4 EXPANSÃO DAS ÁREAS CULTIVADAS .....	10
2.5 MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	12
2.6 POTENCIAL DE MITIGAÇÃO .....	14
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 ETAPAS DE MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-ÁÇÚCAR.....	20
3.1.1 Área de cana-de-açúcar em fase de plantio .....	20
3.1.2 Área de cana-de-açúcar em tratamento de soqueira.....	20
3.1.3 Área de cana-de-açúcar disponível para a colheita .....	21
3.1.4 Conversão no sistema de colheita da cana-de-a-çúcar .....	21
3.2 FONTES DE EMISSÕES ASSOCIADAS AO MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	22
3.3 EMISSÕES DIRETAS E INDIRETAS DE N <sub>2</sub> O DEVIDO AO MANEJO DO SOLO.....	24
3.3.1 Fertilizante nitrogenado sintético.....	24
3.3.2 Compostos Orgânicos .....	25
3.4 EMISSÕES ASSOCIADAS À COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	26
3.4.1 Emissão de N <sub>2</sub> O dos resíduos da cana-de-áçúcar (cana crua) .....	26
3.4.2 Emissões da queima dos resíduos da cana-de-açúcar .....	27
3.5 EMISSÕES PROVENIENTES DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS .....	28
3.6 EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> DEVIDO À CALAGEM .....	28
3.7 EMISSÕES DEVIDO AO USO DE DIESEL .....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>

4.1 EXPANSÕES DAS ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR .....	30
4.2 EMISSÕES DOS GEE NA LOCALIDADE DE BARRETOS .....	31
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>6 IMPLICAÇÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>38</b>

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1.</b> Áreas de plantio, tratamento de soqueira e colheita da cana-de-açúcar na localidade de Barretos .....	<b>18</b>
<b>Tabela 2.</b> Fontes de emissão de GEE consideradas para cada etapa de manejo agrícola .....	<b>23</b>
<b>Tabela 3.</b> Quantidades de insumos agrícolas e diesel consumido por hectare de acordo com as etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar.....	<b>25</b>
<b>Tabela 4.</b> Emissões totais de GEE (em t CO <sub>2</sub> eq) associadas à produção da cana-de-açúcar na localidade de Barretos/SP, referentes ao período de 2006 a 2011.....	<b>31</b>
<b>Tabela 5.</b> Emissões dos GEE (em kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> ) durante as operações de manejo agrícola da cana-de-açúcar.....	<b>34</b>

**LISTA DE FIGURAS****Página**

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo, Barretos, São Paulo, Brasil. ....	<b>17</b>
<b>Figura 2.</b> Mapa do Município de Barretos referente à área (ha) de expansão e conversão de colheita (Crua e Queimada) da cana-de-açúcar no período de 2006 a 2011.....	<b>19</b>
<b>Figura 3.</b> Área (ha) de colheita (manual queimada e mecanizada crua) da cana-de-açúcar correlacionada pela área total (ha) cultivada na localidade de Barretos no período de 2006 a 2011.....	<b>21</b>
<b>Figura 4.</b> Expansão (ha) da área total de cana-de-açúcar cultivada na localidade de Barretos no período de 2006 a 2011.....	<b>30</b>
<b>Figura 5.</b> Emissões totais de GEE (em t CO <sub>2</sub> eq) na localidade de Barretos devido ao manejo (plantio, tratamento de soqueira e colheita) da cana-de-açúcar no período de 2006 a 2011.....	<b>33</b>
<b>Figura 6.</b> Área total (ha) de cana-de-açúcar cultivada na localidade de Barretos, correlacionando as emissões acumuladas de GEE (t CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> ) no período de 2006 a 2011.. ..	<b>35</b>

## **Inventário dos gases de efeito estufa associado ao manejo da cana-de-açúcar na localidade de Barretos-SP, Brasil**

**RESUMO** – O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar mundial, e 70% da produção desta cultura se concentra nas regiões Centro-Sul. O Município de Barretos está localizado na região Centro-Norte do Estado de São Paulo e detém atualmente uma área cultivada de cana estimada em 73.668 hectares, o que representa aproximadamente 1,36% da produção do Estado de São Paulo. Este trabalho estima baseado nos dados gerados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Canasat, INPE) e metodologias para inventário de emissões do IPCC, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) desta região no período de 2006 a 2011 em função das etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar associados ao plantio (reformada e expansão), tratamento de soqueira (cana queimada e crua) e colheita (manual queimada e mecanizada crua). A partir deste estudo, pode-se observar uma expansão na área cultivada da cana-de-açúcar na localidade que foi de 69,76% no período estudado, e mesmo com esse crescimento, as fontes de emissões dos GEE reduziram de 3,4 t CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> para 2,54 t CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> entre os anos de 2006 e 2011, resultando em uma redução de 25,30% das emissões por área durante esse período. Os resultados deste estudo indicam que a redução progressiva da queimada que antecede a colheita é um fator determinante para redução das emissões por hectare produzido, sendo esta prática de queimada, responsável em média por 73,63% dos totais de emissões das operações de colheita. Conclui-se que apesar da área cultivada ter sofrido uma considerável expansão, os níveis de emissões por área ou por tonelada de cana produzida diminuíram. Isso só foi possível devido à conversão no sistema de manejo da colheita antes realizada como manual queimada, e gradativamente convertido para mecanizada crua.

**Palavras-chave:** cana crua, cana queimada, efeito estufa, inventário de emissões, mudanças climáticas.

## **Inventory of greenhouse gases associated with the sugarcane management in the city of Barretos-SP, Brazil**

**ABSTRACT** – Brazil is the largest producer of sugarcane worldwide, 70% of the production of this crop is concentrated in the Mid-South. The city of Barretos is located in the center-north of the state of São Paulo and currently holds a cultivated area of 73,668 hectares estimated sugarcane, which represents approximately 1.36% of the production of the State of São Paulo. Based on data generated by the National Institute for Space Research (INPE) through the project will Canasat estimated emissions of greenhouse gases (GHG) in this region in the period 2006 to 2011 according to the stages of agricultural management of sugarcane associated with planting sugar (reformed / expansion), treatment of stumps (burned / raw mechanized) and harvesting (manual burned / raw mechanized). From this study, it can be seen an expansion in acreage of sugarcane in the city which was 69.76% during the study period, and even with this growth, the sources of GHG emissions reduced by 3.4 t CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> to 2.54 t ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>eq between the years 2006 and 2011, resulting in a 25.30% reduction in emissions per hectare during this period. The results of this study indicate that the progressive reduction of fire which antecedent harvest is an important factor for reducing emissions, and this practice of burning, responsible for an average of 73.63% of the total emissions from harvesting operations. We conclude that although the acreage has suffered a considerable expansion, emission levels per area or per ton of cane produced decreased this was only possible due to the conversion of crop management system performed as manual before burning, and gradually converted to green mechanized.

**Keywords:** green cane, sugarcane burning, greenhouse gas, emissions inventory, climate change.

## 1 INTRODUÇÃO

As operações da colheita nos canaviais estão presentes nas principais discussões sobre a sustentabilidade e eficácia da produção sucroalcooleira. As condições de trabalho e a prática da queima prévia da palha da cana-de-açúcar estão associadas aos impactos sociais e ambientais, respectivamente, tendo em vista que, emissões relacionadas à queima da biomassa constituem uma importante fonte global de partículas e gases para a atmosfera (CANÇADO et al., 2006).

Conforme consta no Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 2012) do qual o Brasil é um dos signatários, os gases de efeito estufa (GEE) devem ter suas emissões reduzidas em pelo menos 5% dos níveis emitidos em 1990, onde o prazo anterior era de 2008 a 2012 e na última conferência do clima em Durban realizada na África do Sul, houve uma dilatação do prazo para 2013 a 2020.

É amplamente reconhecido que o uso da terra e a mudança de uso da terra e florestas (LULUCF) são setores fundamentais que influenciam diretamente a mudança climática, pois são responsáveis por significativo volume liberado de gases de efeito estufa (GEE), especialmente CO<sub>2</sub>, sendo tema também no capítulo que trata da mitigação das mudanças climáticas.

Pode-se dizer que nos dias de hoje a agricultura é responsável por cerca de 14% do total de emissões antropogênicas globais de GEE, onde é esperado um grande crescimento nas taxas de emissão, causado principalmente por aumentos de renda, população e consumo de produtos agrícolas diversos (IPCC, 2007). Ainda de acordo com o IPCC (2007), as oportunidades para mitigar os GEE na agricultura se dividem em três grandes categorias com base no mecanismo fundamental, são eles: redução das emissões, promover o sequestro de carbono e evitar emissões.

A cultura da cana-de-açúcar oferece uma das fontes de energia renováveis de melhor custo benefício, prontamente disponível nos países em desenvolvimento (MACEDO, 1996). É ainda uma forma eficiente de converter energia solar e, de fato, tem a taxa mais alta de energia por volume de todas as culturas energéticas (JOHNSON et al., 2010). A cana-de-açúcar possui potencial para redução das mudanças climáticas através da substituição de combustíveis fósseis, sem necessidade de subsídios excessivos nem de desenvolvimento de infraestruturas caras (OLIVEIRA et al., 2005).

A área total cultivada com cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira no Brasil, em 2011, foi estimada em 8.033,60 mil hectares, distribuídos em todos Estados produtores (CONAB, 2012). O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 54,23% (4.357 mil hectares), sendo o Município de Barretos responsável por uma área cultivada de 73.668 hectares (INPE/Canasat, 2012).

São dois os procedimentos mais comuns adotados para colheita da cultura da cana-de-açúcar, manual com queima e mecanizada crua. Tradicionalmente a cana é queimada no campo poucos dias antes da colheita para a remoção de folhas e insetos e facilitar o corte manual (THORBURN et al., 2001). Entretanto, desde maio de 2000 essa prática antes comum vem sofrendo restrições da lei em algumas regiões do Brasil. Além da emissão de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ), outros gases poluentes e particulados são emitidos devido às queimadas, causando problemas à saúde humana como, por exemplo, respiratórios, e ainda precipitação de cinzas sobre áreas urbanas (CANÇADO et al., 2006; ANDREA & MERLET, 2001).

É estimado que cerca de 80% da área plantada na região sucroalcooleira mais produtiva do Brasil mecanize a colheita nos próximos 20 anos (CENBIO, 2002). Pela manutenção de resíduos da cultura à superfície, a colheita mecanizada favorece indiretamente o acúmulo de matéria orgânica no solo (THORBURN et al., 2001; LUCA, 2002) e a redução de emissões de GEE, se comparado ao sistema de queimadas (ANDREA & MERLET, 2001).

Por meio de dados obtidos através do monitoramento da cana-de-açúcar via imagens de satélite INPE/Canasat (2012), utilizando sensoriamento remoto, pode-se notar que o Município de Barretos apresenta uma expansão considerável quanto ao cultivo da cana, constituindo sua base de dados a partir do ano de 2006, com total cultivado em torno de 43.394 hectares, chegando ao ano de 2011 com uma área de 73.668 hectares, tendo assim, seu crescimento na ordem de 69,76% nos últimos 6 anos.

Observando-se o avanço nas áreas de cana-de-açúcar neste Município, faz-se necessário a condução de estimativas a partir do inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) baseado nos três tipos de operações agrícolas no setor canavieiro, distintamente separado em plantio (reformada/expansão), tratamento de

soqueira (cana queimada e crua) e colheita (manual queimada e mecanizada crua). O propósito deste estudo é quantificar as emissões de GEE nessa área durante o período de estudo, distinguindo-se as principais operações relacionadas à emissão de GEE na produção de etanol, no sudeste do Brasil, mais precisamente na localidade de Barretos, SP.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Efeito estufa e a agricultura

O mecanismo natural importante, responsável pelo aquecimento da atmosfera, e que ajuda a manter a temperatura média do planeta em condições aceitáveis para a sobrevivência dos seres vivos é denominado “efeito estufa” (YU, 2004). Quando parte da radiação solar recebida e absorvida pelo nosso planeta é emitida de volta para o espaço, ocorre a absorção pelos chamados gases de efeito estufa presentes na atmosfera, dando origem a esse fenômeno natural. Assim, a radiação, especialmente na faixa espectral do infravermelho, que iria diretamente ao espaço fica retida próxima a superfície do planeta. Como consequência, a radiação infravermelha que seria emitida pela superfície da terra permanece concentrada na baixa atmosfera, promovendo o aquecimento do planeta (IPCC, 2001). Não fosse pelos gases de efeito estufa presentes na atmosfera, a temperatura na superfície seria de aproximadamente  $-18^{\circ}\text{C}$  (BAIRD, 2002; MELO, 1998).

O problema é quando temos uma condição de efeito estufa ampliado, causado principalmente pela emissão adicional de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , clorofluorcarbonos (CFCs), entre outros gases. Entre esses, o  $\text{CO}_2$  é o que mais contribui para o efeito estufa adicional que prevaleceu até o início dos anos 1800. Duas fontes principais associadas às práticas agrícolas contribuíram para o aumento de  $\text{CO}_2$  na atmosfera: a decomposição da matéria orgânica do solo e a queima da biomassa das plantas associado com a conversão da vegetação nativa, pradarias e florestas para o uso agropecuário (HOUGHTON et al., 1983).

As emissões atmosféricas de  $\text{CO}_2$  (379 ppm) e  $\text{CH}_4$  (1.774 ppb) em 2005 excederam consideravelmente os níveis naturais no decorrer dos últimos 650.000 anos (IPCC, 2007). De acordo com o IPCC (2007), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) tem um potencial de aquecimento global (PAG) de 1, visto que o mesmo apresenta um tempo de vida curto na atmosfera e um baixo potencial para absorver a radiação infravermelha quando comparado com os demais gases de efeito estufa. Embora as concentrações de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e CFCs na atmosfera sejam ainda menores, o elevado potencial de aquecimento global (PAG) desses gases os torna um dos principais gases contribuintes para o aquecimento global. O potencial de aquecimento global

do CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CFCs são de 25, 298 e 6.200 a 7.200 vezes maior que uma molécula de CO<sub>2</sub>, respectivamente, para um período de 100 anos de permanência na atmosfera.

Os solos são um importante reservatório natural de carbono. Estima-se que nos primeiros 100 cm de profundidade, em termos globais, estão armazenados 2.200 Pg C (Pg = penta grama), correspondendo a aproximadamente 4 vezes o compartimento de C da vegetação (560 Pg) e 3 vezes o C da atmosfera (750 Pg); o C armazenado no solo é constituído pelo C orgânico (1.500 Pg C) e mineral (700 Pg C) (BATJES, 1996).

As práticas de manejo nos solos agrícolas podem reduzir ou aumentar o estoque de C do solo. Métodos de preparo do solo como aração e gradagem promovem perdas de C por meio de vários mecanismos segundo BAYER et al. (2000); YOUNG & RITZ (2000); CERRI et al. (2004); REICOSKY & ARHER (2007). O CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> originados a partir de uso de solos agricultados são provenientes da decomposição do carbono no solo, aplicações de fertilizantes sintéticos e orgânicos.

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas que tem a sua parcela de emissão associada ao uso de defensivos agrícolas, fertilizantes, diesel e a etapa da queima da palha que antecede a colheita, todas essas atividades como fontes diretas ou indiretas de GEE para a atmosfera. Mas gradativamente, um conceito vem se desenvolvendo na cultura, é com relação à redução gradativa da colheita manual com queima da palha, onde se faz o uso do fogo visando facilitar a operação de cisalhamento para os trabalhadores, através dessa queima são emitidos para atmosfera gases que são considerados do efeito estufa. Na tentativa de mitigar estes efeitos esta sendo utilizada nas áreas de cultivo a colheita mecanizada crua que impede a queima e proporciona que a palha permaneça sobre o solo.

De acordo com CERRI et al. (2004), a prática da colheita mecanizada da cana-de-açúcar em substituição da colheita com queima da palha tem despertado interesse devido à sua contribuição para a mitigação de gases do efeito estufa. A adoção dessa prática vem aumentando, apontando para a necessidade de se quantificar as mudanças nas taxas de emissão de gases para a atmosfera e a concentração de matéria orgânica no solo (acúmulo de carbono no solo de áreas agrícolas).

## 2.2 Mudanças climáticas e impactos na agricultura

Nos últimos 200 anos a quantidade de dióxido de carbono emitida para a atmosfera devido a atividades antrópicas, principalmente devido ao aumento do uso de combustíveis fósseis, aumentou a concentração desse gás na atmosfera de 280 ppm (partes por milhão), na era pré-industrial, para 365 ppm em 1995 (KEELING & WHORF, 1998). Atualmente a concentração de carbono atmosférico está em 379 ppm, segundo as últimas medidas feitas na estação de Mauna Loa, no Havaí (MARTINS et al., 2004)

As evidências das mudanças climáticas globais (MCG), em consequência do aumento da concentração de gases de efeito estufa, enfatizando o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), e até vapores d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), têm se mostrado cada vez mais consistente e sido aprovado pela comunidade científica internacional. Relatórios demonstram, inclusive, que as mudanças climáticas globais severas já ocorreram no passado e podem acontecer novamente, adiantando os cenários previstos para um futuro mais distante (ALLEY, 2005).

Os principais GEE decorrentes de atividades agrícolas são  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Os fluxos de  $\text{CO}_2$  ocorrem, em sua maior parte, na captura realizada durante a fotossíntese das plantas e na liberação via respiração, assim como na decomposição e combustão de matéria orgânica. A emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  ocorre principalmente como subproduto dos processos de nitrificação e desnitrificação. Já a emissão de  $\text{CH}_4$  ocorre principalmente em processos anaeróbicos no solo, estocagem de estrume, fermentação entérica e durante a combustão incompleta de matéria orgânica. Os fluxos de GEE em sistemas agrícolas podem ser classificados de acordo com os componentes do ecossistema: biomassa, matéria orgânica morta, solos e gado e animais domésticos (IPCC, 2006).

A agricultura, por sua vez, além de contribuir com as mudanças climáticas é também vítima de seus impactos devido as suas fragilidades associadas à distribuição de chuvas e variações da temperatura ambiente (BORDONAL et al., 2012). A produção de alimentos tem sido afetada diretamente por meio das alterações nas condições agroecológicas (SCHMIDHUBER & TUBIELLO, 2007).

Ainda que aparentemente distantes, as mudanças climáticas também ocorrerão no Brasil e, talvez, com efeitos mais prejudiciais pela vulnerabilidade

histórica que o país oferece a desastres naturais, como enchentes, deslizamentos de encostas e secas (GODFRAY et al., 2011).

Os modelos de previsão de mudanças climáticas introduzidos pelo IPCC (2007) confirmam resultados bastante variáveis quanto à mudança de padrão de precipitações e temperaturas máximas e mínimas na América do Sul. Sobretudo, preveem aumento de temperatura para todo o continente. Para o período das monções as projeções indicam crescimento da precipitação em algumas regiões e redução em outras, podendo inclusive haver inversão em função da época do ano. No entanto, os modelos para 2091 a 2100 ainda são divergentes em muitos pontos do Brasil, não deixando estabelecer cenários seguros para alterações no ciclo hidrológico. Existe também, a previsão de aumento na frequência de fenômenos extremos que podem ser especialmente prejudiciais para a agricultura.

Essas mudanças interferem diretamente na agricultura e nas áreas florestais brasileiras. NOBRE (2005), NOBRE et al., (2004), NOBRE et al., (2005) apresentam resultados sobre o comportamento dos biomas brasileiros através da aplicação das possibilidades do IPCC para 2091-2100 no Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC-INPE, no qual pode ser observado, em maior ou menor grau, a desertificação do semiárido nordestino e uma “savanização” da Amazônia. Embora a valorização dessas alterações seja impraticável, já é percebida uma perda significativa de biodiversidade pela dificuldade de adaptação desses biomas a mudanças climáticas da ordem de poucas décadas (MEDLYN & MCMURTRIE, 2005). Em estudo recente da EMBRAPA (2011) foram avaliados os impactos que o aquecimento global poderá causar às principais culturas agrícolas do país nas próximas décadas. A ausência de medidas de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e de adaptação de cultivos pode ocasionar o deslocamento de plantações para áreas nas quais, atualmente, não se verifica sua ocorrência, como forma de aproveitar as condições climáticas mais adequadas (DOMINGUES, 2011).

O Brasil detém uma matriz energética relativamente limpa e resolvida a questão do desmatamento e das queimadas pode deixar de ser um dos maiores emissores de GEE do mundo, passando a ocupar uma posição de destaque no cenário ambiental global. Diante dessa questão, diversas organizações não governamentais influentes no país propuseram ao governo uma meta ambiciosa de acabar com as queimadas em sete anos, através de tratados de recompensa por

serviços ambientais e fiscalização extensiva, com subsídio do monitoramento por satélites (sensoriamento remoto). A premiação por serviços ambientais também é proposta na declaração dos países detentores de florestas tropicais pluviais, com objetivo de permitir a implantação das ações de redução das emissões resultantes das mudanças do uso da terra e queimadas, definido entre o período de 2008 a 2012 e dando continuidade a partir dos resultados obtidos. Para que essas políticas ambientais possam dar certo, é necessário ser avaliado a fundo e que ache engajamento e coragem dos políticos em aplicá-las. Lembrando que ao fim do Protocolo de Quioto em 2012, foram estabelecidas metas também para os países em desenvolvimento e o Brasil deverá se esforçar para cumprir as metas determinadas atendendo as demandas (PELLEGRINO et al., 2007).

### **2.3 O fator ambiental no setor sucroalcooleiro**

Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se tornou uma das principais culturas agrícola da economia brasileira. O Brasil não é apenas o maior produtor, mas também o primeiro no mundo na produção de açúcar e etanol e atrai cada vez mais o mercado externo com o combustível produzido através da biomassa como fonte alternativa de energia (BRASIL, 2009).

O uso de práticas ecológicas no setor de produção sucroalcooleira torna-se necessária, tendo em vista que nos últimos anos o setor de produção da cana-de-açúcar ofereceu considerável desenvolvimento em todo o território nacional, o Brasil tem se conservado como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e derivados. A área cultivada e colhida no ano safra 2008/2009 foi de 8,92 e 8,14 milhões de hectares respectivamente e a produção nacional neste mesmo período foi de 563.638.524 toneladas (BRASIL, 2009).

Esse desenvolvimento na produção aumenta a responsabilidade de que se venha a fazer uso de uma política de racionalidade nas práticas de uso e manejo das áreas agrícolas. Tendo em vista que, no Brasil essas práticas e, as mudanças no uso da terra e o desmatamento são as principais fontes dos gases de efeito estufa para a atmosfera (LULUFC – *Land use, land use change and forest*) (UNFCCC, 2012).

Atualmente, o setor sucroalcooleiro, embora esteja enfrentando a instabilidade financeira mundial, é fortalecido com o importante abastecimento no já consolidado mercado interno, impulsionado pela força e pela expansão dos motores bicomustível, avançam para outra etapa da sua cultura. Mais especificamente, o setor visa aumentar significativamente as exportações para a Europa, Ásia e América do Norte, segundo informações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2012), até 2019 estão sendo consideradas projeções de aumento nas exportações de açúcar na ordem de 4% ao ano e crescimento na produção de etanol de 21,5 para 58,8 bilhões de litros. No momento, são os desafios do setor sucroalcooleiro: expandir seus mercados com sustentabilidade e responsabilidade socioambiental.

O Brasil é destaque mundial no uso de energias renováveis, que representam mais de 44% da matriz energética do país. O setor sucroenergético possui papel chave nesta participação, uma vez que somente os produtos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do país. Este valor já ultrapassa o fornecido pelas usinas hidroelétricas (UNICA, 2012).

O desenvolvimento de tecnologias, a melhoria dos processos, o gerenciamento e controle da fabricação de açúcar e álcool elevaram os rendimentos de extração do açúcar da cana de 88% em 1977 para 98% em 1995 e ganhos de 17% em 2003 no rendimento da fermentação, chegando a algumas destilarias a rendimentos de fermentação de 92% (PROCANA, 2004). Fica evidente o crescimento das áreas de cana-de-açúcar para indústria no Brasil, ocupando uma situação de destaque o Estado de São Paulo, desenvolvendo sobre áreas de pastagem que ficaram mais eficientes e, assim, ocupam menos terras para o mesmo tamanho de rebanho, mantendo a mesma eficiência, e assim sobrando mais áreas úteis. A cana-de-açúcar também progride sobre algumas áreas que em outro momento eram ocupadas por laranjas que, em alguns casos, ficaram menos produtivas, bem como sobre outras culturas como é o caso do milho e da soja (TORQUATO, 2006).

Grandes são as vantagens da produção e utilização da cana-de-açúcar para fins combustíveis, tais como a relação *output/input* de energia (renovável/fóssil) de 10:1 (MACEDO, 2000), que resulta em redução na emissão de CO<sub>2</sub>, eliminação dos aditivos à base de chumbo, redução das emissões de SO<sub>x</sub> e particulados, uso de

fertilizantes menos agressivos de menor quantidades quando comparadas à outras culturas, utilização praticamente integral dos resíduos de processamento, cogeração de energia elétrica limpa, geração de empregos diretos e indiretos, entre outras.

A substituição de áreas naturais em agroecossistemas tem sido responsável por um problema ambiental de dimensões globais, ou seja, o aumento das concentrações dos GEE, transferindo para a atmosfera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), entre outros. Assim, o carbono que estava estocado no solo acaba sendo emitido para a atmosfera através das ações antropogênicas, contribuindo assim, para o acúmulo desses gases na atmosfera (ROSSETO et al., 2008).

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar é uma das mais importantes devido aos aspectos de área de alcance, tecnológico, econômico, ambiental e social. Na esfera econômica ela assume valor devido à geração de energia por meio do uso da queima da palha e preferencialmente na produção industrial. Nesse último fator, é evidenciada a produção de álcool, um concorrente e substituto direto dos combustíveis fósseis. No aspecto ambiental, se adotado um manejo coerente, o cultivo da cana-de-açúcar proporciona a mitigação das emissões dos gases de efeito estufa. Através da fotossíntese a cana-de-açúcar atua como sumidouros de  $\text{CO}_2$  da atmosfera. Devolvendo-o e proporcionando o aumento do estoque de carbono no solo. O ciclo produtivo da cana-de-açúcar e seus produtos e subprodutos constitui uma importante fonte de distribuição de riqueza e de bem estar para inúmeras comunidades afastadas dos grandes centros urbanos, contribuindo para a diminuição na migração para as metrópoles e de seus consequentes problemas sociais. (URQUIAGA et al, 1991).

## **2.4 Expansão das áreas cultivadas**

Recentemente, tem existido muita discussão de que a expansão da cultura cana-de-açúcar no Brasil e a produção de biocombustíveis, principalmente do etanol causariam impactos negativos na produção e no aumento de preços dos alimentos e aumentaria o desmatamento com a utilização de novas áreas, inclusive na Amazônia, o que é muito pouco provável. A área total plantada com cana de açúcar

atualmente ocupa apenas cerca de 2% da área agrícola do país, da qual, 99,7% está pelo menos a 2 mil quilômetros da floresta amazônica (MACEDO, 2005).

A expansão da cana-de-açúcar nos últimos 25 anos aconteceu principalmente no Centro-Sul do Brasil, em áreas muito distantes dos biomas atuais da Floresta Amazônica, Mata Atlântica e Pantanal. Entre 1992 e 2003, no Centro-Sul a expansão deu-se quase totalmente (94%) nas áreas já utilizadas com cana-de-açúcar, sendo que novas fronteiras agrícolas foram muito pouco envolvidas. Em São Paulo (que é responsável por 58% da cana produzida no país), o crescimento ocorreu principalmente pela substituição de áreas de pastagens degradadas (MACEDO, 2008).

No início do século XXI, o setor agrícola brasileiro é marcado por um novo ciclo no plantio da cana-de-açúcar para obtenção de álcool combustível, agora não mais apenas para a substituição do consumo de petróleo pela elevação dos preços, como ocorreu nos anos 1970 quando foi criado o PROÁLCOOL.

A cana-de-açúcar ocupa atualmente 0,9% do território nacional e tem potencial para dobrar sua produção até 2017. Uma iniciativa pioneira estabeleceu o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil. O objetivo é disciplinar a expansão da produção nacional de cana diante da demanda mundial de biocombustíveis e do interesse de empresas nacionais e transnacionais em aportar recursos para a produção de etanol no país (EMBRAPA, 2011).

A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2012/13 está estimada em 8.567,2 mil hectares, distribuídos em todos estados produtores conforme suas características. O Estado de São Paulo é o maior produtor com 51,66% (4.426,45 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,97% (768,64 mil hectares), Goiás com 8,54% (732,02 mil hectares), Paraná com 7,17% (614,01 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,31% (540,97 mil hectares), Alagoas com 5,35% (458,09 mil hectares) e Pernambuco com 3,48% (298,39 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (CONAB, 2012).

A expansão da área plantada com cana-de-açúcar tem comportamento diferenciado ao longo do País. O maior percentual de aumento está na região Sudeste, responsável por 96,38% do total da área nova agregada. A região Sudeste foi a que apresentou o maior aumento, acrescentando 357.183 hectares à área

existente. Em São Paulo o aumento foi de 246.011 mil hectares e em Minas Gerais 106.640 hectares. Outra região que apresentou crescimento significativo na área de expansão foi a Centro-Oeste, 188.396 hectares, puxado por Goiás pelo plantio de 115.792 hectares, seguido pelo Mato Grosso do Sul, 65.347 hectares. Na região Sul, o Paraná vai plantar 50.066 hectares de novas lavouras. O total da área de expansão em todo País deve ficar em 618.056 hectares (CONAB, 2012).

São Paulo pode ser considerado o Estado onde as transformações provocadas pelo capital no processo de produção agrícola associada à cana-de-açúcar são as mais evidentes do País. Elas podem ser avaliadas em termos da presença marcante do trabalho assalariado, especialmente o temporário e o volante, ainda, em termos de produtividade da terra e do trabalho, revelada através da renda agrícola, dos investimentos, da mecanização, enfim, da intensificação cada vez maior da produção através do capital (SILVA, 1982).

## **2.5 Manejo agrícola da cana-de-açúcar**

A prática do cultivo em sistema de monoculturas, embora importante economicamente, demanda inúmeros efeitos negativos. Entre eles, enfatiza-se à fragmentação da paisagem aberta, diminuição da biota microbológica do solo, além de promover o depauperamento da diversidade genética da flora e da fauna. Além disso, emprega-se com frequência em diferentes regiões do país a colheita manual queimada da palha da cana-de-açúcar (TIMM, 2002). Essa prática de colheita é danosa ao ambiente, pois promove a poluição do ar devido à dispersão de cinzas e emissão de carbono para a atmosfera. Em adição, o solo exposto a ação da chuva e do vento, promovendo uma deterioração através do intemperismo; ocasiona o desequilíbrio ecológico naquela área, favorecendo o aparecimento de ervas daninhas e eliminando os seres que promovem o controle biológico das pragas da lavoura de cana-de-açúcar, reduzindo consideravelmente a aumento da matéria orgânica do solo.

As práticas de plantio sofrem algumas variações conforme seja ele realizado de forma mecanizada ou semi-mecanizada, mas basicamente pode ser dividido em três etapas: o corte dos colmos, sua distribuição no sulco e cobertura. A relação das atividades que constituem o sistema de plantio convencional, muitas vezes também

chamado de “manual” devido ao predomínio de operações manuais em sua realização. Tais atividades são: corte, carregamento e transporte das mudas; sulcação e adubação; distribuição, alinhamento e seccionamento (picamento) dos colmos no sulco; cobertura dos sulcos juntamente à aplicação de inseticida; repasse manual da cobertura de sulcos (COLETI, 1987).

Outras operações, como os tratos culturais e a colheita, envolvem menos energia, porém maior complexidade operacional, o que abre a possibilidade de complementar o trabalho manual com auxílios mecânicos. Nesses casos, a mão-de-obra executa as funções que demandam discernimento e/ou manuseio delicado, e o equipamento executa a parte da operação que demanda mais energia e apresenta maiores riscos de acidentes ocupacionais.

A queima do canavial como parte do processo de colheita da cana-de-açúcar tende a ser totalmente eliminado no Estado São Paulo, por motivos ambientais e de saúde pública. Nessas condições de corte sem queima prévia, a mão-de-obra fica sujeita a limitações ergonômicas e econômicas severas, e as vantagens comparativas da colheita manual sobre a mecânica só se mantêm com a redução drástica do pagamento da mão-de-obra. Assim, a mecanização total ou parcial representa, atualmente, a única opção para a colheita da cana que atenda simultaneamente aos requisitos ergonômicos, de viabilidade econômica do setor e, principalmente, das exigências legais e ambientais, uma vez que somente com o corte mecânico é possível a colheita sem queima prévia. Essas condições, somadas à forte pressão mercadológica dos fabricantes de colhedoras, têm promovido crescimento da colheita mecânica, principalmente no Estado de São Paulo.

O Brasil possui regiões tropicais, onde os solos expostos a constante mobilização e submetidos às práticas de queimadas, proporcionando diminuição considerável de matéria orgânica (CANELLAS et al., 2003), ocasionando doenças respiratórias nas populações que vivem na proximidade do canavial (GONÇALVES, 2006).

Em virtude dos impactos ocasionados pela queima da palha, a legislação brasileira tem agido com menos tolerância à prática da colheita manual da cana-de-açúcar, exigindo que as indústrias e empresas do seguimento busquem formas mais eficientes e sustentáveis para solucionar os problemas causados ao ambiente (BUSATO, 2004; CHAVES, 2008).

Uma saída para resolver este problema é impedir a colheita manual sob queima, depositando os resíduos da colheita mecanizada crua sobre o solo. Esse método colabora para uma melhor infiltração da água no solo, diminuindo a erosão do solo e adicionado ao solo material orgânico. Em adição, tem sido sustentado que tal prática ajuda a mitigar a emissão de gases de efeito estufa, conseqüentemente, aprimorando a fertilidade do solo (CANELAS et al, 2003).

A camada de proteção do solo é favorecida pela deposição dos resíduos da colheita mecanizada crua. Em média, a cana-de-açúcar produz cerca de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de palha, composta de diversos elementos químicos, evidenciando-se o carbono (C) e o nitrogênio (N). Depositada sobre o solo forma uma camada na ordem de 15 a 20 cm de espessura (URQUIAGA, et al., 1991). Porém, esta conservação da palha de cana-de-açúcar sobre o solo ocasiona alguns impactos negativos sobre o sistema de cultivo, por exemplo: risco de incêndio, dificuldade para execução de cultivo, demora ou falha na brotação, proliferação de algumas pragas (ROSSETO, et al., 2008).

A cultura da cana-de-açúcar é classificada como uma planta mitigadora de carbono, fazendo-se indispensáveis estudos que venham reforçar a autonomia sobre os efeitos benéficos dos cultivos racionais no melhoramento da MOS (matéria orgânica do solo). Por fim, pode-se dizer que, a compreensão das transformações nas propriedades químicas do solo, conseqüentes do cultivo contínuo de cana-de-açúcar, deverá contribuir com a formação de elementos para a produção em bases sustentáveis, uma vez que o conteúdo e a qualidade da MOS agregam atributos dos solos que podem ser utilizados para avaliar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (BARROS, 2011).

## **2.6 Potencial de mitigação**

Os ecossistemas terrestres que compreendem a vegetação e o solo são considerados atualmente um grande sumidouro de carbono, especialmente os solos. Há várias maneiras pelo qual o manejo apropriado da biosfera, particularmente do solo, pode resultar em significativa redução na emissão de gases de efeito estufa (GARRITY et al., 2001). O manejo do solo que interage com o estoque de C e as emissões de GEE está relacionado ao tipo de cultura, frequência de pousio, manejo

de resíduos, culturas de cobertura, rotações, preparo, irrigação, drenagem e adubação (PAUSTIAN et al., 1997).

A quantificação da perda de carbono e conseqüentemente a emissão de CO<sub>2</sub> dos solos está diretamente relacionada com a frequência e a intensidade do grau de perturbação do solo causada pelos implementos de preparo. Embora os efeitos do preparo no solo sobre as emissões de CO<sub>2</sub> sejam variáveis e complexos (MOSIER et al., 1991; LAUREN; DUXBURY, 1993), os sistemas mais conservativos ou que menos mobilizam o solo são considerados como uma alternativa às práticas agrícolas para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> a atmosfera (KERN & JOHNSON, 1993; REICOSKY & LINDSTROM, 1993; LAL & KIMBLE, 1997; LA SCALA et al., 2006).

A eficiência em acumular carbono no solo pelos diversos sistemas de manejos e tipos de vegetação difere devido às características da cultura agrícola em questão, como a relação carbono por nitrogênio de suas partes. Em adição, há outros aspectos relacionados com a condição climática da região, pois, por exemplo, a taxa de mineralização da matéria orgânica em regiões temperadas (ex. Europa Central) é de aproximadamente 2% quando comparado aos trópicos úmidos (ex. Amazônia), que é de 4 a 5%. Por outro lado, a produção de biomassa, ou seja, de vegetação, é maior nos trópicos úmidos (MACHADO, 2005). Portanto, é importante aperfeiçoar os manejos dos ecossistemas baseados nas variações climáticas e características geográficas de cada região, visando obter um sequestro de C da atmosfera mais efetivo (WANG et al., 2010).

O preparo resulta em efeitos diretos sobre a dinâmica do COS, devido à mudança no ambiente do solo, tais como a temperatura, umidade e oxigenação, que favorecem a atividade microbiana; e efeitos indiretos, como o rompimento dos agregados do solo. Os efeitos diretos (temperatura, umidade e oxigênio) somados a uma maior exposição do C no solo, devido à quebra dos agregados, intensificam a atividade microbiana no solo, e conseqüentemente aumentam as emissões de CO<sub>2</sub> (BALESDENT et al., 2000). Características intrínsecas do solo também estão relacionadas com um maior ou menor acúmulo de carbono orgânico, a exemplo da textura, em que solos de textura argilosa apresentam um maior potencial em acumular C orgânico do que solos de textura arenosa, ambos sob a mesma condição climática (SILVA et al., 1994).

A estabilização do carbono orgânico em solos tropicais e temperados está condicionada à estrutura do solo, biota do solo e suas interações, assim como às práticas de manejo agrícolas adotadas (SIX et al., 2002), sendo o preparo conservacionista uma excelente estratégia para reduzir a erosão do solo, diminuir as perdas de C do sistema, melhorar a estrutura do solo e, até mesmo reduzir o consumo de óleo diesel pelo maquinário durante as operações agrícolas, que também é uma fonte de emissão de gases de efeito estufa.

Entretanto, o sequestro de C obtido pela adoção de manejos conservacionistas por muitos anos pode ser considerado uma solução de curto prazo. LA SCALA et al. (2006) demonstraram que em poucos dias após o preparo convencional do solo, aproximadamente 25 dias, a perda de carbono do solo pode ser tão alta quanto à taxa anual de sequestro de C obtida por sistemas conservacionistas durante muitos anos. VANDEN BYGAART & KAY (2004) constataram que, no solo franco-arenoso, o carbono perdido em 18 meses após o preparo foi aproximadamente 66% da quantidade de carbono sequestrado durante 22 anos.

Para o presente estudo foram compiladas informações de diversas literaturas tendo como objetivo a pesquisa da expansão das áreas de cultivo e emissões de GEE nas etapas agrícolas da cultura da cana-de-açúcar na localidade de Barretos, SP no período de 6 anos, porém o potencial de acúmulo de carbono no solo mediante essas práticas não foram considerados como sumidouro de GEE, levando em consideração apenas as etapas de plantio, tratamento de soqueira e colheita.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A aplicação desta metodologia foi realizada na localidade de Barretos, nordeste do Estado de São Paulo, região sudeste do Brasil, latitude  $20^{\circ}33'26''$  e longitude  $48^{\circ}34'04''$ , localizado a 530 metros acima do nível do mar (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da área de estudo, Barretos, São Paulo, Brasil (INPE/Canasat).

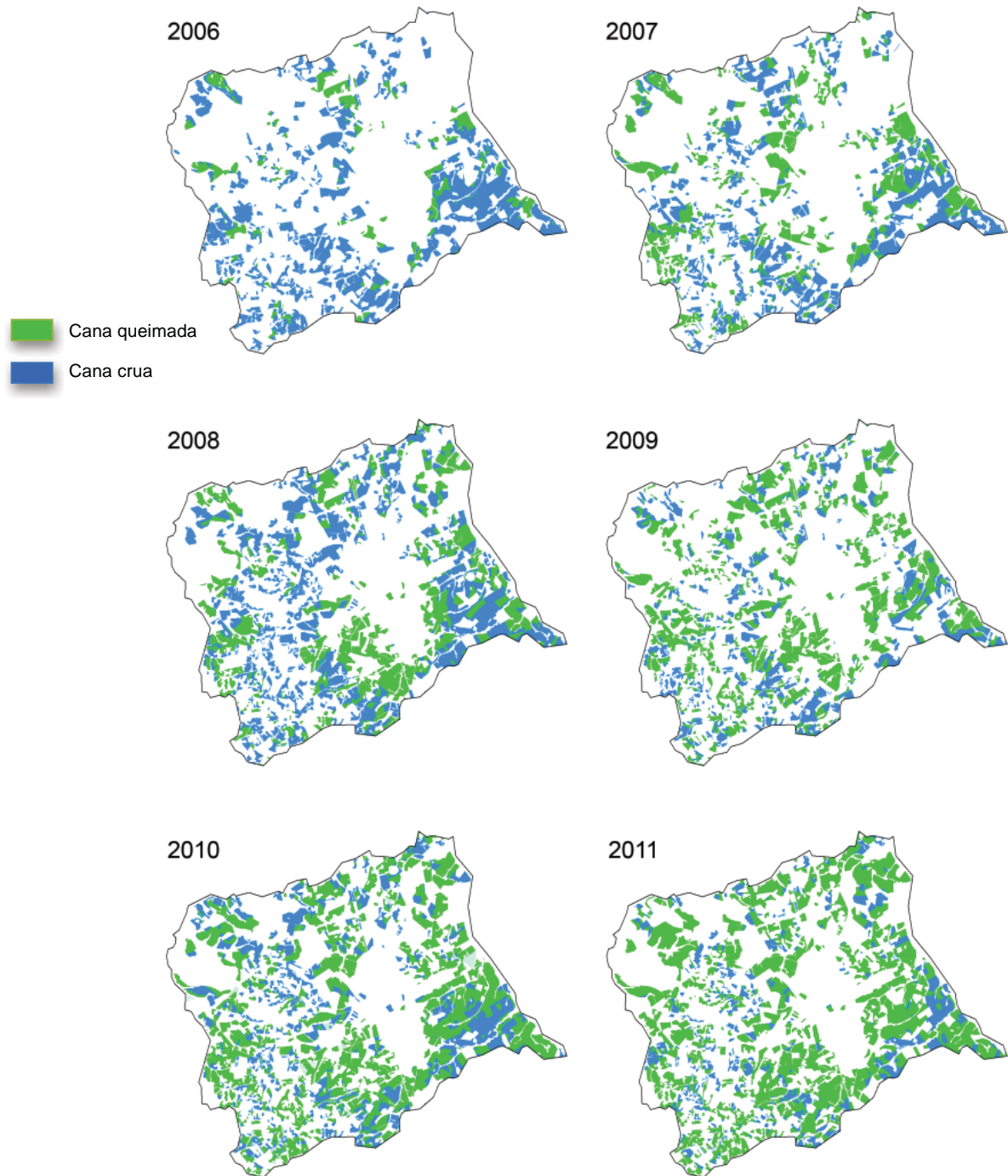
Na elaboração deste trabalho, foram utilizados os dados das áreas de cana-de-açúcar referentes aos anos de 2006 a 2011 (Tabela 1), em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por meio da Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR e do projeto Canasat. O mapeamento e levantamento dos dados são realizados anualmente por meio de sequência temporal da safra corrente, tendo como base as áreas disponíveis para o plantio, tratamento de soqueira e colheita, delimitadas pelo projeto Canasat-Área, e imagens obtidas pelos satélites *Landsat*, *CBERS* e *Resourcesat-1*, disponibilizadas pelo INPE/DGI (Divisão de Geração de Imagens). O processamento e interpretação das imagens foram realizados no *software SPRING*, (2012) segundo metodologia desenvolvida por AGUIAR et al., 2011.

O mapa das áreas cultivadas com cana-de-açúcar da safra corrente é produzido com base no mapa da safra anterior, em duas etapas: interpretação visual das imagens da safra corrente e reclassificação dos pixels isolados. O primeiro mapa foi produzido para a safra 2005/06 por meio de classificação digital e visual das imagens de satélite (RUDORFF et al., 2005). A partir desse mapa realizam-se atualizações, averiguações e correções anuais, por meio de sequência temporal de imagens da safra corrente. Apesar de a classificação digital ter sido utilizada no primeiro mapeamento, ela é menos relevante na atualização dos mapas da safra corrente, pois esse procedimento apresenta muitos erros de omissão e inclusão, tornando necessária a classificação visual e a edição para obtenção de um mapa temático com resultado satisfatório (AGUIAR et al., 2009).

**Tabela 1.** Áreas de plantio, tratamento de soqueira e colheita da cana-de-açúcar na localidade de Barretos (Fonte: INPE/Canasat).

Ano	Plantio		Tratamento de soqueira		Colheita			
	Reformada (ha)	Expansão (ha)	Queima (ha)	Crua (ha)	Queima (ha)	Queima (%)	Crua (ha)	Crua (%)
2006	562	6.251	31.424	7.645	31.728	80,1	7.865	19,9
2007	1.930	10.297	22.137	17.308	24.455	52,6	22.057	47,4
2008	1.441	15.922	34.444	25.684	32.962	54,7	27.297	45,3
2009	3.936	2.615	20.139	32.859	18.242	34,7	34.284	65,3
2010	5.781	1.842	21.973	42.935	20.554	31,5	44.681	68,5
2011	2.642	2.238	11.575	45.910	13.751	21,2	51.235	78,8
<b>Total</b>	<b>16.292</b>	<b>39.165</b>	<b>141.692</b>	<b>172.341</b>	<b>141.692</b>	<b>274,80</b>	<b>187.419</b>	<b>325,20</b>

O mapeamento dos dados referentes à área cultivada de cana-de-açúcar na localidade de Barretos, SP, relacionando as áreas de colheita divididas entre cana queimada e cana crua, sendo observada uma conversão juntamente com uma expansão da área de colheita também no período de 2006 a 2011 (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa do Município de Barretos referente à área (ha) de expansão e conversão de colheita (Crua e Queimada) da cana-de-açúcar no período de 2006 a 2011.

### **3.1 Etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar**

#### **3.1.1 Área de cana-de-açúcar em fase de plantio**

São as áreas cultivadas com cana-de-açúcar passíveis de serem colhidas na safra corrente. Esta classe envolve dois tipos: a) Reformada: são as áreas de cana-de-açúcar que passaram por reforma dos talhões na safra anterior, ou seja, áreas onde as socas pouco produtivas foram substituídas e estarão disponíveis para colheita na safra corrente; b) Expansão: Áreas que nas safras anteriores eram destinadas a outros usos do solo e na safra corrente estão sendo cultivadas com cana-de-açúcar e estarão disponíveis para colheita pela primeira vez. Lavouras de cana-de-açúcar que foram convertidas em outro uso por um período igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana-de-açúcar também se inserem nessa classe. Para identificar essas áreas é necessário que o intérprete analise as imagens sob a classe “outros” do mapa da safra anterior (INPE/Canasat, 2012).

#### **3.1.2 Área de cana-de-açúcar em tratamento de soqueira**

Para a cana-de-açúcar as melhores produtividades são obtidas nas safras que sucedem à do plantio, quando deverá ser recomendada uma fertilização adequada, uma vez que nos demais anos, além do baixo vigor da soqueira, surgem e/ou se agravam outros problemas, como: nível nutricional, compactação, pragas e doenças. ORLANDO FILHO et al., (1999) observaram queda na produtividade agrícola ao longo dos ciclos, sendo mais drástica da cana-planta (cana de ano e meio) para a primeira soca.

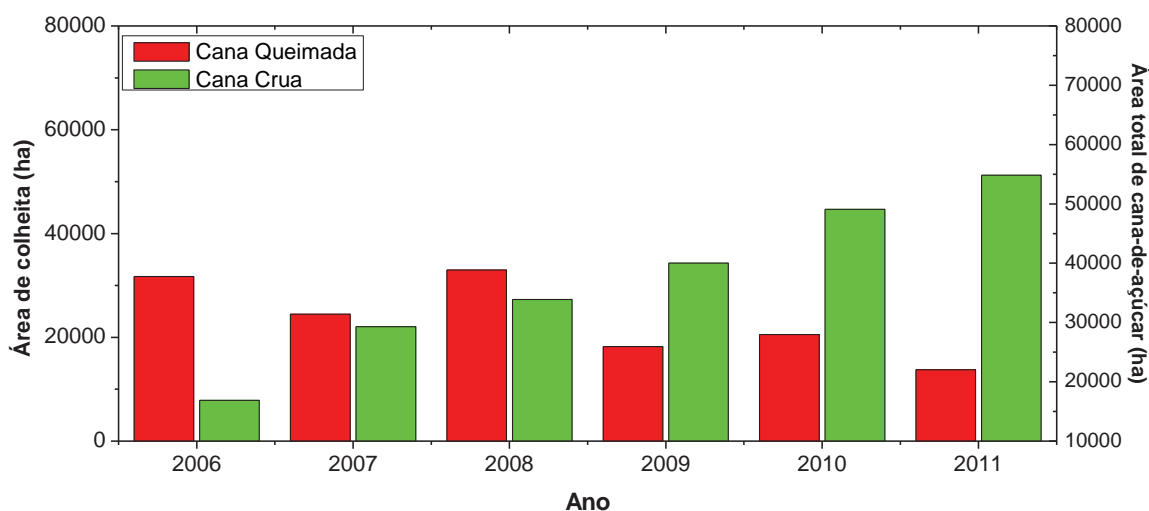
Nesta classe também se encontram as lavouras reformadas com cana planta de ano; Cana Soca, recebem esta denominação as áreas cultivadas com cana-de-açúcar a partir da segunda colheita, ou seja, a partir da primeira rebrota, que por sua vez foi dividida em tratamento de soqueira para cana-de-açúcar colhida crua, e queimada (INPE/Canasat, 2012).

### 3.1.3 Área de cana-de-açúcar disponível para a colheita

São as áreas que foram cultivadas e colhidas utilizando dois tipos específicos de manejo no sudeste do Brasil: colheita manual, que é baseada na queima prévia da cana-de-açúcar, e colheita mecanizada, que não envolve a queima prévia (também conhecida como colheita crua) e deixa grande quantidade de resíduos da cultura sobre a superfície do solo (MACEDO, 2005). A propósito, os sistemas de colheita agrícola devem ser adaptados com intuito de atender a Lei Estadual Nº 11.241/2002 (São Paulo, 2002), que obriga o fim da colheita queimada no final de 2021 em áreas que apresentam a declividade do terreno de até 12%, e para 2031 em áreas com declividade superior a 12%.

### 3.1.4 Conversão no sistema de colheita da cana-de-açúcar

Na localidade estudada a cana-de-açúcar vem ganhando espaço nos últimos anos em substituição especialmente de áreas de pastagens. Esse processo tem sido acompanhado de ganhos de produtividade com a mecanização da colheita que, se por um lado torna ocioso um expressivo contingente de mão de obra, por outro, gera ganhos ambientais. Contando também que a área de plantio da cana-de-açúcar tem aumentado significativamente (Figura 3).



**Figura 3.** Área (ha) de colheita (manual queimada e mecanizada crua) da cana-de-açúcar correlacionada pela área total (ha) cultivada na localidade de Barretos no período de 2006 a 2011.

A conversão no sistema de colheita da cana-de-açúcar, passando de manual queimada para mecanizada crua ocorreu em pequenas áreas, onde antes prevalecia na sua maioria a tolerância pela queima prévia do canavial, e com o passar do tempo após exigência imposta pela legislação ambiental vigente, este sistema teve que ser adaptado, mas por outro lado, na sua maior parte conforme a cana-de-açúcar foi expandindo e ocupando novas áreas nesses casos já era adotado diretamente o sistema de colheita mecanizada crua. Sendo assim apenas algumas áreas passaram por conversão conforme pode ser observado na Figura 3, ao longo do período estudado onde a expansão ocorreu em áreas consideradas de pastagem e ao passar dos anos sendo ocupadas pela cana-de-açúcar.

Para o período estudado houve uma conversão no sistema de manejo na operação de colheita, sendo esta convertida de manual queimada para mecanizada crua para um período de 6 anos.

### **3.2 Fontes de emissões associadas ao manejo agrícola da cana-de-açúcar**

O presente estudo baseia-se na aplicação das metodologias do IPCC (2006) para o cálculo das estimativas de emissões de GEE nos principais sistemas de manejo utilizados em áreas de cana-de-açúcar na localidade de Barretos-SP, que compreendem o sistema de colheita manual com queima, considerando o uso do preparo convencional nas áreas de reforma do canavial; sistema de colheita mecanizada sem queima que utiliza o preparo convencional durante a reforma (BORDONAL et al., 2012).

As seguintes fontes de GEE foram consideradas: a) Emissões de  $N_2O$  do manejo do solo associadas à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos, compostos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) e resíduos da cana-de-açúcar depositados na superfície do solo; b) Emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  devido à queima da palha na pré-colheita da cana-de-açúcar; c) Aplicação de calcário; d) Aplicação de defensivos; e) Fontes móveis, representados pelo consumo de óleo diesel durante as operações agrícolas. As emissões de GEE relacionadas às fases de produção dos insumos agrícolas (fertilizante nitrogenado sintético, calagem e defensivos), assim como as fases de extração, processamento e transporte do óleo diesel também foram incluídas nos cálculos (DE FIGUEIREDO & LA SCALA JR, 2011).

Considerando o ciclo de cultivo médio de 6 anos da cana-de-açúcar, identificou-se na localidade de Barretos-SP as áreas de reforma/expansão, de tratamento de soqueiras e de colheita, relativas aos tipos de manejos agrícolas associados à cultura da cana-de-açúcar, sendo as principais fontes de emissão de GEE apresentadas na Tabela 2 de acordo com cada etapa de manejo da cultura.

**Tabela 2.** Fontes de emissão de GEE consideradas para cada etapa de manejo agrícola.

<b>Manejos</b>	<b>CQ – Cana Queimada</b>	<b>CC – Cana Crua</b>
<b>Plantio</b>	Fertilizantes Sintéticos	Fertilizantes Sintéticos
	Torta de Filtro	Torta de Filtro
	Calcário	Calcário
	Inseticida	Inseticida
	Herbicida	Herbicida
	Diesel	Diesel
<b>Tratamento de Soqueira</b>	Fertilizantes Sintéticos	Fertilizantes Sintéticos
	Vinhaça	Vinhaça
	-	Inseticida
	Herbicida	Herbicida
	Diesel	Diesel
<b>Colheita</b>	-	Resíduos da colheita crua
	Queima de resíduos	-
	Diesel (L)	Diesel (L)

O balanço das emissões de GEE nas três etapas de manejo foram classificados em termos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) de acordo com o potencial de aquecimento global individual para cada gás no período de 100 anos, sendo 1 para CO<sub>2</sub>, 25 para CH<sub>4</sub> e 298 para N<sub>2</sub>O (IPCC, 2007). As emissões de GEE foram estimadas representando o consumo dos insumos e óleo diesel por hectare durante as operações de plantio, tratamento de soqueira e colheita, com os resultados sendo expressos em termos de kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> após aplicar as metodologias do IPCC (2006).

### 3.3 Emissões diretas e indiretas de N<sub>2</sub>O devido ao manejo do solo

O N<sub>2</sub>O é um gás de efeito estufa altamente estável e de longa vida cujas concentrações atmosféricas estão aumentando a uma taxa de 0,2 a 0,3% por ano, sendo a maior parte das suas emissões atribuída às atividades antrópicas (CAST, 2004).

Os solos são responsáveis por boa parte das emissões de N<sub>2</sub>O, sendo que as emissões antrópicas de óxidos de N estão relacionadas com a adição de fertilizantes e aumento na mineralização do N orgânico do solo em sistemas agrícolas (DUXBURY, 1995). O impacto do N<sub>2</sub>O na mudança radiativa é direta já que este gás participa numa variedade de reações que afetam os níveis troposféricos de ozônio, proporcionando a sua degradação e radicais OH que iniciam a destruição oxidativa de CH<sub>4</sub> (HUANG et al., 2004).

O preparo do solo direcionado à cultura da cana-de-açúcar devido ao manejo pode ocasionar diretamente ou indiretamente efeitos significativos nas emissões de N<sub>2</sub>O associados às entradas de combustíveis provenientes dos maquinários e insumos agrícolas como é o caso dos fertilizantes N sintéticos, vinhaça e torta de filtro.

Estão sendo considerados neste estudo as emissões relacionadas às fases de produção e transporte do fertilizante N sintético, com um fator de emissão de 3,97 kg CO<sub>2</sub>eq kg<sup>-1</sup> do N aplicado no solo (MACEDO et al., 2008).

#### 3.3.1 Fertilizante nitrogenado sintético

O nitrogênio é, depois do carbono, hidrogênio e oxigênio o elemento mais demandado pelos vegetais (LISBOA et al., 2011). Parte da quantidade de N requerido pelas culturas pode ser suprida pelo solo, no entanto, em muitas situações o solo é ineficiente para atender toda a demanda por N, tornando-se necessária a fertilização através dos fertilizantes nitrogenados sintéticos.

A adubação mineral no plantio da cana-de-açúcar tem o objetivo de proporcionar produtividades em torno de 100 t há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para esse tipo de nutriente é recomendado uma aplicação que varia entre 30 a 90 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabela 3; SPIRONELLO et al., 1997).

Para o tratamento de soqueiras estimando uma produtividade de 100 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> é proposto uma aplicação de 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de fertilizante nitrogenado (Tabela 3) durante os ciclos de soqueira (SPIRONELLO et al., 1997). Entretanto, na conversão dos sistemas de colheita queimada para o de colheita crua nos primeiros anos é recomendado uma taxa de 130 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 3) devido à alta relação C:N dos resíduos da cultura excedentes no solo que pode levar à imobilização do nitrogênio do solo e dos fertilizantes pelos microrganismos, reduzindo a sua acessibilidade para a cultura da cana-de-açúcar (VITTI et al., 2007; TRIVELIN & VITTI, 2005; GENTILE et al., 2008).

**Tabela 3.** Quantidades de insumos agrícolas e diesel consumidos por hectare de acordo com as etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar.

<b>Manejos</b>	<b>CQ - Cana Queimada</b>	<b>CC – Cana Crua</b>
<b>PLANTIO</b>		
Fertilizantes Sintéticos (kg N)	60	60
Torta de Filtro (kg N)	105	105
Calcário (t)	2,0	2,0
Inseticida (kg)	0,16	0,16
Herbicida (kg)	2,0	2,0
Diesel (L)	166,72	166,72
<b>TRATAMENTO DE SOQUEIRA</b>		
Fertilizantes Sintéticos (kg N)	100	130
Vinhaça (kg N)	44,1	44,1
Inseticida (kg)	-	1,5
Herbicida (kg)	2,0	2,0
Diesel (L)	16,09	20,36
<b>COLHEITA</b>		
Diesel (L)	94,70	177,20

Adaptado de Bordonal et al. (2012).

\* kg: quilograma; N: nitrogênio; t: tonelada; L: litro.

### 3.3.2 Compostos Orgânicos

A vinhaça é utilizada na fertirrigação das áreas de cana-de-açúcar como adubo orgânico promovendo a reciclagem de nutrientes e substituindo o uso de adubos minerais (BORGES et al., 2011).

Na aplicação dos cálculos (Tabela 3), o conteúdo de N na vinhaça foi considerado como 0,368 kg N m<sup>-3</sup>, com uma taxa de aplicação de 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em

cada ano, chegando a um valor de 44,1 kg N ha<sup>-1</sup> no tratamento de soqueira (DE FIGUEIREDO & LA SCALA JR, 2011).

A torta de filtro é um composto basicamente orgânico, tem composição química variável e apresenta altos teores de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, cálcio e possui, ainda, teores consideráveis de potássio, magnésio (NUNES JÚNIOR, 2005), e expressivas quantidades de Fe, Mn, Zn e Cu (CERRI et al., 1988).

Para o cálculo, foi considerado para a torta de filtro um teor de 1,4% de N em 25% de matéria seca, sendo aplicado no sulco de plantio a uma quantidade de 30 t ha<sup>-1</sup> durante a reforma do canavial, independente se a colheita anterior foi realizada crua ou queimada, (DE FIGUEIREDO & LA SCALA JR, 2011), que corresponde a uma taxa de aplicação de 105 kg N ha<sup>-1</sup>.

### **3.4 Emissões associadas à colheita da cana-de-açúcar**

#### **3.4.1 Emissão de N<sub>2</sub>O dos resíduos da cana-de-açúcar (cana crua)**

A quantidade de resíduos vegetais depositados no campo após a colheita da cana mecanizada é função direta de características da variedade, como produtividade, facilidade de despalha do colmo, uniformidade de altura dos ponteiros e tamanho dos mesmos (MANECHINI, 1997). A quantidade média de palha sobre o solo após a colheita mecanizada da cana-de-açúcar é 15 t ha<sup>-1</sup>, com um teor de N presente nesses resíduos, variando de 40 a 80 kg ha<sup>-1</sup> (PAES & OLIVEIRA, 2005; TRIVELIN et al., 1996; RESENDE et al., 2006). A palha da cana é composta por folhas secas, folhas verdes e ponteiros. Após a colheita mecanizada da cana, estes três materiais vegetais são depositados no solo. As folhas secas, as folhas verdes e os ponteiros apresentam praticamente a mesma composição, sendo constituídas por 45% de carbono (C), 6% de hidrogênio, 43% de oxigênio e entre 0,5% e 1% do macronutriente nitrogênio (N) (TUFAILE NETO, 2005).

Com a deposição de material orgânico no solo, o equilíbrio entre a mineralização e imobilização do N é comprometida, já que ambos os processos ocorrem respectivamente, e a relação C:N do material será responsável por qual deles será predominante (CASSMAN; MUNNS, 1980). Assim, a matéria seca da cana-de-açúcar, tem uma relação C:N da ordem de 100, poderá melhorar a

imobilização do N inorgânico disponível no solo para sustentar o crescimento da população de microrganismos, promovido pela abundância de C como fonte de energia. A metabolização do substrato reduz gradualmente a relação C:N, chegando a um ponto em que os microrganismos não necessitam do N inorgânico, acontecendo dessa forma, a mineralização líquida e a consequente potencialização na disponibilidade de N no solo (CANTARELLA, 2007).

Nas estimativas das emissões de N<sub>2</sub>O dos resíduos da cultura depositados na superfície do solo, a quantidade de N disponível para nitrificação e desnitrificação foi considerada em 20% do total presente na palha (60 kg ha<sup>-1</sup> de N) durante o período de 1 ano (Tabela 3), portanto, uma quantidade média de 12 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N estaria disponível para atividade microbiana do solo em áreas de colheita crua (BORDONAL et al., 2012).

### **3.4.2 Emissões da queima dos resíduos da cana-de-açúcar**

A colheita manual da cana-de-açúcar faz uso da queima prévia da palhada para aumentar a eficiência da operação. Proporcionando um maior acesso à cultura, a queima da palhada (o resíduo do processo de colheita, que inclui a palha e a ponteira da cana) dobra a quantidade média de cana cortada por um trabalhador, que é em média 6 t dia<sup>-1</sup>. Apesar dessa vantagem, o processo de queima causa vários problemas, do aspecto social, ou através da liberação de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, como é o caso do monóxido de carbono (CO), o metano (CH<sub>4</sub>), as espécies de nitrogênio (N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>) e os compostos orgânicos voláteis não-metano (NMVOC) são lançados para a atmosfera (LEVINE, 2000) e fuligem que causa incômodo para a população local.

Os fatores de emissão empregado nos cálculos foram: 2,7 e 0,07 para o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O (g kg<sup>-1</sup> de matéria seca queimada), respectivamente (ANDREA & MERLET, 2001). A produtividade média anual da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo foi considerada em 73 t ha<sup>-1</sup> de colmos (CONAB, 2012), com a produção média de 13,5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, que resulta na relação resíduo-produção de 0,1849. O fator de combustão aplicado aos cálculos foi de 0,80 valor esse obtido das metodologias do IPCC (2006).

### 3.5 Emissões provenientes do uso de defensivos agrícolas

Outros ingressos de energia fóssil vêm da aplicação de defensivos agrícolas, que são os herbicidas e inseticidas. A quantidade de herbicidas usada é grande, enquanto a aplicação de fungicidas é praticamente nula e o consumo de inseticidas é relativamente baixo (BORDONAL et al., 2012).

Atualmente, os herbicidas têm sido consumidos em quantidades semelhantes tanto em áreas de cana queimada quanto em áreas de cana crua. Sendo assim, considerou-se a aplicação das mesmas doses para todos os cenários, com a dose de 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de herbicida aplicado no plantio e no tratamento de soqueiras (MACEDO et al., 2008) (Tabela 3).

São consideradas neste trabalho, como emissões de GEE das fases de produção e transporte dos inseticidas e herbicidas consumidos nos cenários de produção, tendo como base os fatores de emissão sugeridos por MACEDO et al., (2008), que descreve uma emissão de 4,64 e 50,0 kg CO<sub>2</sub>eq kg<sup>-1</sup> de inseticida e herbicida aplicados respectivamente (Tabela 3).

No sistema de colheita manual com queima da palhada é comum a aplicação dos inseticidas apenas no plantio a uma taxa de 0,16 kg ha<sup>-1</sup> Tabela 3; (MACEDO et al., 2008). Já no sistema de colheita mecanizada sem queima, os níveis de infestação por pragas de solo têm aumentado com a deposição de resíduos vegetais na superfície do solo (BORDONAL et al., 2012). Portanto, considerou-se a taxa de aplicação de 0,16 kg ha<sup>-1</sup> de inseticida tanto no plantio quanto no tratamento de soqueiras (Tabela 3) em áreas colhidas mecanicamente sem queima (MACEDO et al., 2008).

### 3.6 Emissões de CO<sub>2</sub> devido à calagem

A calagem é uma prática agrícola com seus benefícios bem estabelecidos, entre eles, a correção da acidez do solo, aumento na disponibilidade de cálcio, fósforo e magnésio, a melhoria da estrutura do solo e a atividade microbiana. A elevação do pH melhora a capacidade do solo em adsorver alguns nutrientes, reduzindo assim, suas perdas por lixiviação. Dentre esses nutrientes está o potássio, nutriente mais extraído pela cultura da cana e que possui potencial de perdas por

lixiviação em condições de alta acidez do solo (LEVINE, 2000; ROSSETTO et al., 2004), para os cálculos, foi considerado a dose de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário durante a reforma do canavial (DE FIGUEIREDO & LA SCALA, 2011), que resulta em um valor de emissão considerado como 0,13 t de C por t de calcário dolomítico aplicado (IPCC, 2006) As emissões relacionadas às fases de produção do calcário também foram consideradas com uma quantidade emitida de 0,01 kg CO<sub>2</sub>eq kg<sup>-1</sup> de calcário aplicado (MACEDO et al., 2008).

### 3.7 Emissões devido ao uso de diesel

As estimativas das emissões associadas às fontes móveis foram relacionadas às fases de extração, processamento e transporte do diesel, assim como as emissões diretas devido ao consumo de diesel pelo maquinário durante as operações agrícolas de preparo do solo, plantio, tratamento de soqueiras, colheita e transporte da cana-de-açúcar dentro do setor sucroalcooleiro.

As emissões diretas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram estimadas de acordo com a metodologia do IPCC (2006). Os fatores de emissão aplicados para o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram: 74.100 kg CO<sub>2</sub> TJ<sup>-1</sup>, 4,15 kg CH<sub>4</sub> TJ<sup>-1</sup> e 28,6 kg N<sub>2</sub>O TJ<sup>-1</sup>, respectivamente. Para determinar o fator de emissão, a densidade do diesel foi considerada como sendo 852 g L<sup>-1</sup>, com o consumo específico de 195 g kWh<sup>-1</sup> (DE FIGUEIREDO & LA SCALA, 2011). As emissões de GEE relacionadas às fases de extração, processamento e distribuição do diesel foram consideradas como sendo 0,581 kg CO<sub>2</sub>eq L<sup>-1</sup> de diesel (MACEDO et al., 2008).

Os transportes que envolvem as operações agrícolas é o processo que corresponde às maiores emissões de CO<sub>2</sub> e tem o maior consumo final de combustíveis fósseis, principalmente os associados à colheita mecanizada. É o que mais elevou o crescimento das emissões em anos recentes (GARCIA & SPERLING, 2010).

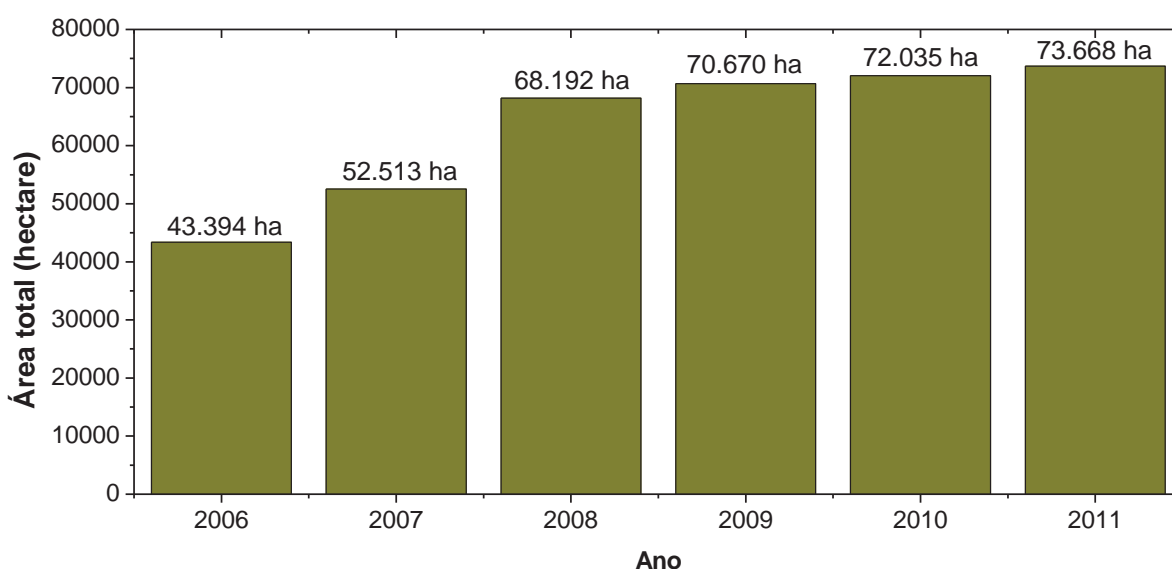
Os dados utilizados para estimar as emissões de GEE do diesel foram baseados no consumo médio anual de todas as operações agrícolas durante o manejo da cana-de-açúcar em suas diferentes fases: plantio, tratamento de soqueiras e colheita (Tabela 3; Fonte: BORDONAL et al., 2012).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Expansões das áreas de cana-de-açúcar

O presente estudo relata a expansão na área de cana-de-açúcar cultivada na localidade Barretos, SP, destacando principalmente os anos de 2006 a 2008, onde foi registrada uma expansão neste período de 43.394 para 68.192 hectares (Figura 4). Este aumento de 57,15% é bastante significativo, atingindo no ano de 2011 uma área de 73.668 hectares, totalizando uma expansão de 69,76% em relação ao ano de 2006, 19,9% dessa área colhida crua e 80,1% queimada, já para o ano de 2011, 78,8% foi colhida crua e 21,2% queimada.

Tendo como ponto de partida a base de dados adquirida através do projeto INPE/Canasat conforme relatado na Tabela 1, e de acordo com os resultados apresentados por Aguiar et al. (2011), é observado que a localidade de Barretos/SP foi uma das áreas da cultura que mais expandiu dentro do Estado de São Paulo. Um dos fatores que contribuíram para isso foi a rentabilidade financeira que o setor oferece em comparação à pastagem sendo convertida para área agricultável de cana-de-açúcar.



**Figura 4.** Expansão (ha) da área total de cana-de-açúcar cultivada na localidade de Barretos no período de 2006 a 2011.

## 4.2 Emissões dos GEE na localidade de Barretos

As estimativas do balanço das emissões totais de GEE das etapas agrícolas e fontes móveis para a cultura da cana-de-açúcar na localidade de Barretos, SP durante o período estudado (em t CO<sub>2</sub>eq) estão apresentadas na Tabela 4, divididos em três tipos de manejo, sendo: plantio (reformada / expansão), tratamento de soqueira (crua / queimada) e colheita (manual queimada / mecanizada crua).

**Tabela 4.** Emissões totais de GEE (em t CO<sub>2</sub>eq) associadas à produção da cana-de-açúcar na localidade de Barretos/SP, referentes ao período de 2006 a 2011.

Ano Safra	Plantio		Tratamento de soqueira		Colheita		TOTAL (t CO <sub>2</sub> eq)
	Reformada (t CO <sub>2</sub> eq)	Expansão (t CO <sub>2</sub> eq)	Queimada (t CO <sub>2</sub> eq)	Crua (t CO <sub>2</sub> eq)	Queimada (t CO <sub>2</sub> eq)	Crua (t CO <sub>2</sub> eq)	
2006	5.791,54	30.899,24	44.819,74	13.699,61	45.566,80	6.072,65	146.849,58
2007	4.324,15	47.778,74	31.573,78	31.015,42	35.121,54	17.030,43	166.844,06
2008	11.811,15	7.847,09	49.127,13	46.024,96	47.339,04	21.076,29	183.225,65
2009	17.347,62	5.527,47	28.724,05	58.882,34	26.198,61	26.471,02	163.151,13
2010	7.928,11	6.715,79	31.339,87	76.938,23	29.519,04	34.498,65	186.939,69
2011	23.040,14	5.929,58	16.509,31	82.269,34	19.748,77	39.559,06	187.056,20
<b>Total</b>	<b>70.242,71</b>	<b>104.697,91</b>	<b>202.093,88</b>	<b>308.829,90</b>	<b>203.493,80</b>	<b>144.708,10</b>	<b>1.034.066,31</b>

Os valores de emissões anuais são relativas às áreas e atividades naquele ano executadas. Podemos então considerar, especialmente, para cada um desses anos os seguintes aspectos:

**2006:** para este ano, é observada uma área nas operações de plantio (reformada/expansão) de 6.813 hectares, tratamento de soqueira (queimada/crua) de 39.069 hectares e na colheita (queimada/crua) de 39.593 hectares, totalizando uma emissão de GEE no valor de 146.849,58 t CO<sub>2</sub>eq;

**2006/2007:** tem-se uma emissão no valor de 166.844,06 t CO<sub>2</sub>eq, onde a operação que se destacou foi plantio com um aumento de 79,46% em suas emissões;

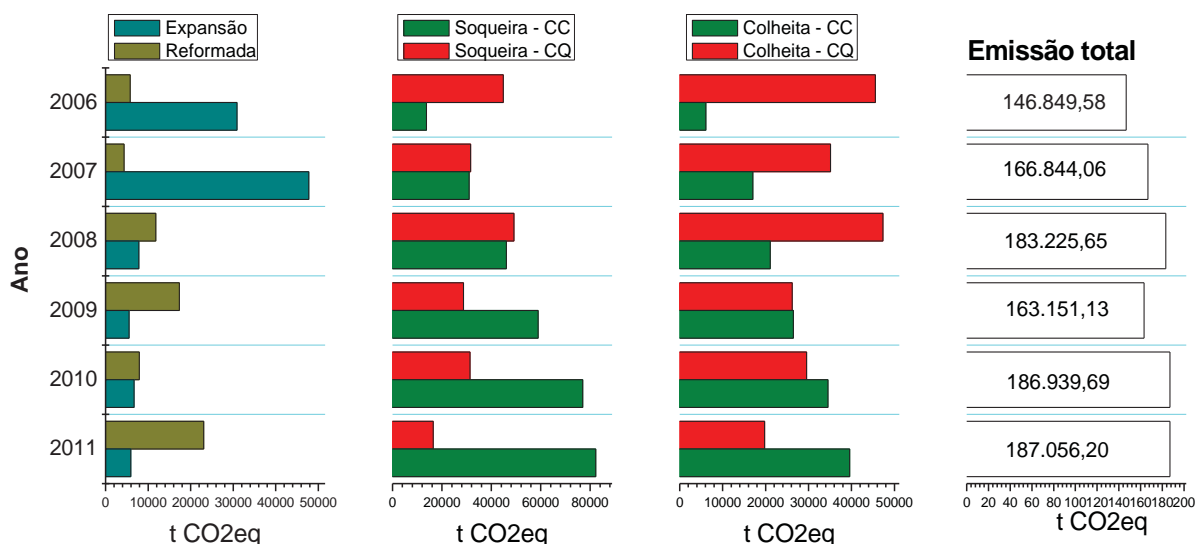
**2007/2008:** a emissão foi de 183.225,65 t CO<sub>2</sub>eq, notando-se um aumento significativo em todas as operações agrícolas, plantio (42%), tratamento de soqueira (52,43%) e colheita (29,55%);

**2008/2009:** a emissão foi de 163.151,13 t CO<sub>2</sub>eq, em que é observado uma diminuição de 11% das emissões totais aplicáveis para todas as operações agrícolas, plantio (62,27), tratamento de soqueira (11,86%) e colheita (12,83%);

**2009/2010:** a emissão foi de 186.939,69 t CO<sub>2</sub>eq, que demonstra um aumento de 14,60% fracionados nas operações de tratamento de soqueira (22,47%) e colheita (24,20%);

**2010/2011:** a emissão foi de 187.056,20 t CO<sub>2</sub>eq, apesar de se notar um pequeno aumento na emissão total, houve uma diminuição na operação de plantio (36%). Mesmo com essa diminuição a emissão aumentou; isso foi possível porque as áreas de tratamento de soqueira para a operação mecanizada crua foi responsável por 44% da emissão total desse período, e conseqüentemente as aplicações de fertilizantes sintéticos, inseticidas e diesel são maiores do que na operação manual queimada.

As emissões totais de GEE (em t CO<sub>2</sub>eq) referentes ao setor agrícola da cana-de-açúcar estão apresentadas na Figura 5 para cada uma das etapas de manejo consideradas neste estudo (plantio, tratamento de soqueira e colheita) ao longo do período estudado. Para o ano de 2006 as emissões provenientes de todas essas operações agrícolas totalizaram 146.849,58 t CO<sub>2</sub>eq, e no ano de 2011 essas emissões alcançaram o valor de 187.056,20 t CO<sub>2</sub>eq, caracterizando um aumento nas taxas de emissão da ordem de 27,38% em um período de 6 anos.



**Figura 5.** Emissões totais de GEE (em t CO<sub>2</sub>eq) na localidade de Barretos devido ao manejo (plantio, tratamento de soqueira e colheita) da cana-de-açúcar no período de 2006 a 2011.

As análises das emissões de GEE (em kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) distintas por etapa de produção (plantio, tratamento de soqueira e colheita) estão apresentadas na Tabela 5, sendo o plantio dividido em áreas reformadas e de expansão, o tratamento de soqueira separado em cana queimada e cana crua, e a área de colheita dividida em manual queimada e mecanizada crua:

**Plantio** - Foram classificadas como fontes de emissões anuais, os insumos e combustíveis utilizados no plantio, como os fertilizantes sintéticos nitrogenados (610,49 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), torta de filtro (700,67 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), calcário (973,33 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), inseticida (4,64 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), herbicida (50 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) e diesel (661,67 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), totalizando para essa etapa um valor de 3.000,80 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>.

**Tratamento de soqueira** - As fontes de emissões foram estimadas anualmente, fazendo distinção entre cana queimada e crua para soqueiras, onde os valores foram quantificados respectivamente para os fertilizantes N sintéticos (1.017,48 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> e 1.322,72 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), vinhaça (294,95 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> e 294,95 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), herbicida (50 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> e 50 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), diesel (63,86 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> e 80,80 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>). Já as emissões referente ao uso de

inseticida (43,5 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) foram calculadas apenas para a soca de cana crua, totalizando nesse manejo 1.426,29 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> e 1.791,97 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> observando um valor de 25,64% a mais nas emissões para o manejo da soca de cana crua.

**Tabela 5.** Emissões dos GEE (em kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) durante as operações de manejo agrícola da cana-de-açúcar.

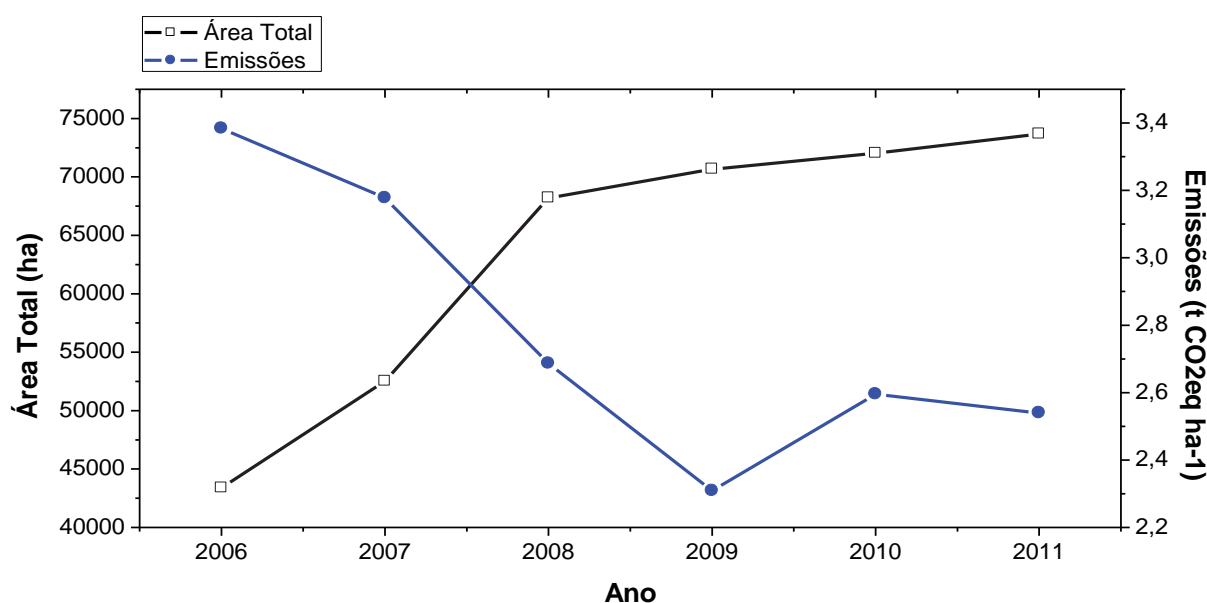
Manejos	CQ - Cana Queimada (kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )	CC – Cana Crua (kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )
<b>PLANTIO</b>		
N Fertilizantes Sintéticos	610,49	610,49
Torta de Filtro de N	700,67	700,67
Calcário	973,33	973,33
Inseticida	4,64	4,64
Herbicida	50,00	50,00
Diesel	661,67	661,67
<b>Total (1)</b>	<b>3.000,80</b>	<b>3.000,80</b>
<b>TRATAMENTO DE SOQUEIRA</b>		
N Fertilizantes Nitrogenados	1.017,48	1.322,72
Vinhaça	294,95	294,95
Inseticida	-	43,5
Herbicida	50,00	50,00
Diesel	63,86	80,80
<b>Total (2)</b>	<b>1.426,29</b>	<b>1.791,97</b>
<b>COLHEITA</b>		
Resíduos da colheita crua	-	68,84
Queima de resíduos da cana	1.060,32	-
Diesel	379,75	710,57
<b>Total (3)</b>	<b>1.440,07</b>	<b>779,41</b>

Adaptado de Bordonal et al. (2012).

**Colheita** - Neste estudo as emissões da colheita estão divididas em duas etapas, colheita queimada e colheita crua, suas emissões anuais foram baseadas nos resíduos adicionados na superfície do solo após a colheita mecanizada para cana crua (68,84 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), resíduos da pré-colheita para cana queimada (1.060,32 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>), diesel de operações agrícolas para cana queimada (379,75 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>) e consumo de diesel para cana crua (710,57 kg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>),

totalizando para cana queimada  $1.440,07 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$  e  $779,41 \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}$  para cana crua, o que equivale a uma diferença de 84,76% a mais nas emissões envolvendo a colheita manual queimada. É possível dizer que boa parte das emissões provenientes das operações agrícolas envolvendo a cultura da cana-de-açúcar é derivada dos resíduos da queima da palhada da cana.

Na Figura 6 está apresentada a correlação entre a área total (ha) de cana-de-açúcar cultivada na localidade de Barretos e as emissões totais de GEE ( $\text{t CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ) durante o período de 2006 a 2011. Para o ano de 2006, observou-se que a área total cultivada com cana-de-açúcar foi de 43.394 hectares e as emissões provenientes do plantio, tratamento de soqueira e colheita foram de  $3,40 \text{ t CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ . No ano 2011, a área total cultivada com cana foi de 73.668 hectares e suas emissões foram de  $2,54 \text{ t CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ , resultando em uma redução de 25,30% em relação ao ano de 2006.



**Figura 6.** Área total (ha) de cana-de-açúcar cultivada na localidade de Barretos, correlacionando as emissões acumuladas de GEE ( $\text{t CO}_2\text{eq ha}^{-1}$ ) no período de 2006 a 2011.

## 5 CONCLUSÃO

A partir deste estudo, pode-se observar uma expansão na área cultivada da cana-de-açúcar na localidade de Barretos, SP, aumentando de 43.394 hectares para 73.668 hectares, um crescimento de 69,76%, e uma redução da colheita queimada e a inserção da colheita mecanizada contribuindo na redução das emissões de gases de efeito estufa durante a produção sucroalcooleira. Devido à conversão da prática de colheita, o presente estudo vem atestar que as emissões específicas do Município de Barretos diminuíram de 3,4 t CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> para 2,54 t CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup> entre 2006 e 2011, chegando a uma redução de 25,30% durante esse período.

A redução progressiva da queima que antecede à colheita foi um fator determinante, responsável em média por 73,63% dos totais de emissões desta operação. Apesar da área cultivada ter expandido no período analisado, os níveis de emissões de gases de efeito estufa diminuíram devido à conversão no sistema de manejo da colheita antes manual queimada mudando para mecanizada crua.

Atualmente, a etapa do tratamento de soqueira (cana crua) é responsável por boa parte das emissões, devido ao aumento nas áreas de conversão de colheita, antes realizada manual queimada e hoje na sua maioria realizada mecanizada crua, conseqüentemente essa conversão resultou um aumento nas áreas do tratamento de soqueira (cana crua), onde para o ano de 2011 as emissões provenientes das três etapas agrícolas da cana-de-açúcar totalizaram 187.056,20 t CO<sub>2</sub>eq, sendo 44% dessas emissões devido a essa etapa.

Conclui-se que, para acontecer uma diminuição dessas emissões fazem-se necessárias boas práticas agrícolas relacionadas à quantidade de insumos e combustíveis empregados no momento do tratamento e operação de plantio, onde se concentra aproximadamente 70% das emissões acumuladas de GEE para cultura da cana-de-açúcar.

## **6 IMPLICAÇÕES**

A chamada agricultura sustentável, idealizada e tão aclamada seria uma forma de agricultura que conserva os recursos naturais e fornecer produtos saudáveis, sem comprometer os níveis tecnológicos já alcançados de segurança alimentar dos indivíduos. Tal conceituação resulta de emergentes pressões sociais por uma agricultura que não prejudique o ambiente, a economia, a saúde, em suma, a sociedade como um todo. Este estudo recomenda que os sistemas das operações nos manejos agrícolas da cana-de-açúcar sejam aperfeiçoados, propondo um ganho na eficiência da aplicação de fertilizantes nitrogenados, o encerramento das práticas da queima na pré-colheita da cultura, e a redução no consumo de diesel que envolve as operações agrícolas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, D.A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; DE FREITAS, R.M. Avaliação da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar utilizando imagens de sensoriamento remoto. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE. p. 5547-5554, 25-30 abr. 2009.
- 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, p. 2682-2703, 2011.
- ALLEY, R.B. - Mudança Climática Brusca. In: **Scientific American Brasil**. n. 12. p. 8-15, set. 2005.
- ANDREA, M.O.; MERLET, P.: Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**. v. 15, p. 955-966, 2001.
- BAIRD, C. Química Ambiental. 2ª. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2002.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil Tillage** v. 53, p. 215-230. doi:10.1016/S0167-1987(99)00107-5, 2000.
- BARROS, J.D. de S. **Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos: diferenças entre ambientes**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, n. 47, p. 151–163, 1996.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, n. 53, p. 95–104, 2000.
- BEAULAIR, E.G. F.; SCARPARI, M.S. Noções fitotécnicas. In: RIPOLI, T. C.C.; RIPOLI, M. L.C.; CASAGRANDI, D.V. (Org). **Plantio de cana de açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Ed. dos Autores. v. 1. p. 80-91, 2006.

BORDONAL, R.O.; FIGUEIREDO, E.B.; LA SCALA N.: Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest, considering other conservationist management practices. **Global Change Biology**. Bioenergy. n. 4, p. 846-858, 2012.

BORGES, V. M. S.; CASTRO S. S.; SANTANA, G. R. S.; SILVA, A. P. Avaliação econômica da adubação com vinhaça e adubação mineral de soqueiras de cana-de-açúcar na usina São Francisco S/A - Quirinópolis - GO. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2011, Uberlândia - MG. Solos nos biomas brasileiros: Sustentabilidade e mudanças climáticas, 2011.

BÖRJESSON, P. Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective – What determines this? **Applied Energy**, London, v. 86, p. 589–594, 2009.

BRASIL. **Ministério da Agricultura**, Pecuária e Abastecimento. Anuário Estatístico da Agroenergia, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. MAPA/ACS, 2009.

BRASIL. **Ministério da Agricultura**, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 26 dez. 2012.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**, A agenda 21 – Capítulo 14. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/\\_arquivos/cap14.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/cap14.pdf)>. Acesso em: 27 dez. 2012.

BUSATO, J. G. **Formas de Fósforo de um Cambissolo Cultivado com Cana-de-açúcar, com Preservação do Palhão e Adição de Vinhaça por Longo Tempo**. 2004. 78f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Câmpus dos Goytacazes-RJ, 2004.

CAMPOS, B.C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CANÇADO, J.E.D.; SALDIVA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; ARBEX, M.A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A.L.F.: The Impact of Sugar Cane–Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. **Environmental Health Perspectives**, n. 114, v. 5, p. 725–729, 2006.

CANELAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. de A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. n. 27, p. 935-944, 2003.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p. 375-470, 2007.

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. **Elsevier: Applied Energy**. p. 102:220-228, 2012.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; DE MELO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. v. 34, n. 2, p. 277-290. ISSN 0100-0683, 2010.

CASSMAN, K.G.; MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization affected by soil moisture, temperature and depth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 1233-1237, 1980.

CAST: **Council for Agricultural Science and Technology** Climate Change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture, Task Force Report, CAST, Ames, IA, USA. p. 141:120, 2004.

CENBIO - **Centro Nacional de Referência em Biomassa**. Estado da Arte da Gaseificação. São Paulo, Centro Nacional de Referência em Biomassa. Set. 2002.

CERRI, C.C.; POLO, A.; ANDREAUX, F.; LOBO, M.C.; EDUARDO, B.P.: Resíduos orgânicos da agroindústria canvieira: características físicas e químicas. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba. n 6, p. 34-37, 1988.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CERRI, C.E.P.; DAVIDSON, E.A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A ciência do solo e o sequestro de carbono. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 29-34, 2004.

CHAVES, L.H.G.; FARIAS, C.H. de A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 3, n. 1, p. 20-2, 2008.

CHRISTOPHER, S. F.; LAL, R. Nitrogen management affects sequestration in North American cropland soils. **Critical Reviews Plant Sciences**, v. 26, p. 45-64, 2007.

COLETI, J.T. **Técnica cultural de plantio**. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill. v. 1. p. 284-329, 1987.

CONAB: **Companhia Nacional de Abastecimento**, Safra 2012 Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_12\\_12\\_10\\_34\\_43\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_12\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_34_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf)>. Acesso em: 03 Dez. 2012.

DE FIGUEIREDO, E.B.; La Scala Jr, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. n.141, p. 77-85, 2011.

DOMINGUES, E.P.; MAGALHÃE, A.S.; RUIZ, R.M. **Cenários de Mudanças Climáticas e Agricultura no Brasil**: Impactos Econômicos na Região Nordeste. v. 42, p. 230-246, n. 2, Abril – Junho, 2011.

DUXBURY, J.M. The significance of greenhouse gas from soils of tropical agroecosystems. In: Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E.; Stewart, B.A. (ed.) Soil management and greenhouse effect. Advances in Soil Science. Boca Raton: **CRC Lewis Publishers**. p. 279-291, 1995.

EMBRAPA. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/publicacoes/institucionais/titulos-avulsos/aquecimentoglobal.pdf>>. Acesso em: 10 Dez. 2012.

EMBRAPA. **Zoneamento define área de expansão da cana-de-açúcar e etanol no país**. Meio Ambiente. Lima, E. 26 maio de 2011.

FELLER, C.F. Efeitos da colheita sem queima da cana-de-açúcar sobre a dinâmica do carbono e as propriedades do solo. Piracicaba, FAPESP, (**Relatório Técnico**), 150p., 2001.

GARCIA, J. C. C.; SPERLING, E. V. Emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 217-222, 2010.

GARRITY, D.; FISHER, M. Proceedings of the Workshop on Tropical Agriculture in Transition: Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions, **Center for Development Research**: Bonn, Germany, 2001.

GENTILE, R.; Vanlauwe, B.; Chivenge, P.; Six, J. Interactive effects from combining fertilizer and organic residue inputs on nitrogen transformations. *Soil Biology & Biochemistry*, **Elmsford**. n. 40, p. 2375-2384, 2008.

GODFRAY, H. C. J.; PRETTY, J.; THOMAS, S. M.; WARHAM, E. J.; BEDDINGTON, J. R. Linking policy on climate and food. **Science**, Washington, v. 331, p. 1013-1014, 2011.

GONÇALVES, T.M. Impactos da Queima da Palha da Cana-de-açúcar na Saúde. **II Fórum da Alta Paulista**. Estância Turística de Tupã - SP, p. 1-13, 2006.

HOUGHTON, R. A.; HOBBIE, J. E.; MELLILO, J. M.; MOORE, B.; PETERSON, B. J.; SHAVER, G. R.; WOODWELL, G. M. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 53, p. 235-262, 1983.

HUANG, Y.; ZOU, J.; ZHENG, X.; WANG, Y.; XU, X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratio. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford. v. 6, n. 36, p. 973-981, 2004.

INPE DPI Canasat, **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, Divisão de Processamento de Imagens. Dados do Município de Barretos - SP 2006 a 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat>>. Acesso em: 16 Jul. 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. In Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; 2007, 996p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - Diretrizes do IPCC para Inventários Nacionais de Gases Casa Verde, elaborado pelo **Programa Nacional de Estoques de Gás de Efeito Estufa**. 2006, In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, K Tanabe, editores. Japão: IGES. Capítulo 11, N<sub>2</sub>O provenientes solos gerenciados, e as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da cal e aplicação de uréia. Capítulo 2 metodologias genéricas aplicáveis a várias categorias de uso da terra. 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. In: HOUGHTON, J. T. (Ed.). **Climate change 2001**: the scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 886p.

JOHNSON, J.M.F.; KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S. Conservation considerations for sustainable bioenergy feedstock production: If, what, where, and how much. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, 2010, 65:88A-91A.

KEELING, C. D.; WHORF, T.P. Rising carbon. *New Scientist*, New Scientist Published Expediting Inc., **Elmont**. v. 157, n. 2124, p. 54-54, 1998.

KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**, Madison. v. 57, n. 1, p. 200-210, 1993.

LA SCALA JUNIOR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v. 91, p. 244-248, 2006.

LAL, R.; FAUSEY, N.R.; ECKERT, D.J. Land use and soil management effects on emissions of radioactively active gases from tow soils in Ohio. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press. p. 41-57, 1995.

LAUREN, J.; DUXBURY, J.M. Methan emissions from flooded rice emended with a green manure. In: HARPER, L.A.; MOSIER, A.R.; DUXBURY, J.M; ROLSTON, D.E. (Ed.). **Agricultural ecosystems effects on trace gases and global climate change. Madison: SSSA; ASA; CSSA, 1993. p. 183-192. (ASA. Special Publication, 55).**

LEVINE, J. Global biomass burning: a case study of the gaseous and particulate emissions released to the atmosphere during the 1997 fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia. In: Biomass Burning and its Inter-relationships with the Climate System (Ed.) INNES, J.; BENISTON, M.; VERSTRAETE, M.), **Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 15-31, 2000.**

LIMA, M.A.; LIGO, M.A.; CABRAL, M.R.; BOEIRA, R.C.; PESSOA, M.C.P.Y.; NEVES, M.C. Emissão de gases do efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil. **Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 1999, 60p.**

LISBOA, C.C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; MAUDER, M.; KIESSE, R. Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouses gases - Known and unknowns. **Global Change Biology Bioenergy**, n. 3, p. 277-292, 2011.

LUCA, E.F. **Matéria orgânica e atributos de solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar.** 2002. 101f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo – Centro de Energia na Agricultura, Piracicaba.

MACEDO, I.C. SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, n. 32, p. 582-595, 2008.

MACEDO, I.C. Greenhouse Gas Emissions and Energy Balances in Bio-Ethanol Production and Utilization in Brazil (1996). **Biomass & Bioenergy**, n. 14, p. 77-81, 1998.

MACEDO, I.C. Sugarcane's Energy: Twelve Studies on Brazilian Sugarcane Agribusiness and its Sustainability. **União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, São Paulo, n. 2, p. 195-230, 2005.**

MACEDO, I.C. Emissões de Gases de Efeito Estufa e Emissões Evitadas na Produção e Utilização de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool no Brasil: 1990-1994. **Centro de Tecnologia Copersucar** – CTC. Piracicaba – SP / Brasil. 2000.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MANECHINI, C. Diluição de urânio e nitrato de amônio em vinhaça para aplicação em soqueiras de cana colhida sem queimar. **Relatório Interno Copersucar-RT786**, Ribeirão Preto, Usina São Martinho, 1997. 17p.

MARTINS, M.C.; FATIGATI, F.L.; VESPOLI, T.C. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. **J Epidemiol Community Health**; v.1 n, 58, p. 41-46, 2004.

MEDLYN, B.E.; MCMURTRIE, R.E. Effects of CO<sub>2</sub> on Plants at Different Timescales. In: EHLERINGER, J.R.; CERLING, T.E.; DEARING, D.M. (ed.) - A History of Atmospheric CO<sub>2</sub> and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems. **Springer**. New York. USA. 2005. 530p.

MELO, G.C.B. de. **Efluentes atmosféricos e qualidade do ar**. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1998, 71p.

MOSIER, A.; SCHIMEL, D.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous-oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. **Nature**, London, v. 350, n. 6316, p. 330-332, 1991.

NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.S.; MARENGO, J.A.; SALATI, E. Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. **First International CLIVAR Conference**, Baltimore, USA, p. 21-25 Jun. 2004.

NOBRE, C.A.; ASSAD, E.D.; OYAMA, M.D. Mudança Ambiental no Brasil - O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. In: **Scientific American Brasil**. n. 12. Set. 2005.

NOBRE, C.A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima**. In: Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança do Clima. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação do Governo e Gestão Estratégica. v. 1, n.3, 2005. 250p.

NUNES JÚNIOR, D.O. Insumo da torta de filtro. **IDEA News**, Ribeirão Preto, 2005.

OLIVEIRA de M.E.D.; VAUGHAN, B.E.; EDWARD, Jr. Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. **BioScience**, p. 55:57, 2005.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.17, n.4, p.39-41, 1999.

PAES, L.A.D.; OLIVEIRA, M.A. Potential trash biomass of the sugar cane plant. In: SULEIMANS, J.H.; LEAL M.R.L.V.; MACEDO, I.A. (Ed.) Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash: **PNUD-CTC**, Piracicaba, n. 1, p. 19-23, 2005.

PAUSTIAN, K.; ANDREN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOMER, P.L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. **Soil Use and Management**, n. 13, p. 230–244, 1997.

PELEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; MARIN, F.R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Multi Ciência**, Campinas, SP. Ed. 8, p. 139-162, maio 2007.

PROCANA. **Centro de Informações Sucroenergéticas** Álcool e açúcar derrubam o preço da terra, 2004. Disponível em <<http://www.jornalcana.com.br/noticia/Jornal-Cana/5690+Alcool-e-acucar-derrubam-preco-da-terra>> Acesso em: 20 de dez. 2012.

REICOSKY, D.C.; ARCHER, D.W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, n. 94, p. 109–121, 2007.

REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon-dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1237-1243, dez. 1993.

RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características

tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 30, p. 937-941, 2006.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, n. 63, p. 105-119, 2004.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, n. 124, dez. 2008.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/2004. **Agricultura em São Paulo**. v. 52, n. 1, p. 21-29, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 20 set. 2002.

SCHMIDHUBER, J.; TUBIELLO, F.N. **Global food security under climate change**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Washington, v. 104, p. 19703-19708, 2007.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 541-547, 1994.

SILVA, J.F.G. A modernização dolorosa. Rio de Janeiro, RJ: **Zahar Editora**, 1982. 192p.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; DE MOREAS SA J.C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no-tillage. **Agronomie** v. 22, p. 755-775, 2002, doi:10.1051/agro:2002043.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D. Agriculture. In: METZ, B. (Ed.). **Climate change 2007: Mitigation of climate change, contribution of working group III**

to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, p. 497-540, 2007.

SPIRONELLA, A.; RAIJ, B.V.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (2 Ed.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, **Boletim Técnico**, v. 100, p. 237-239, 1997.

SPRING INPE. **Sistema de Processamento de Informações Geográficas**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modeling decomposition of sugarcane surface residues with APSIM Residue. **Field Crops Research**, v. 70, p. 223-232, 2001.

TIMM, L.C. **Efeito do manejo da palha de cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. Tese (Doutorado). Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. 115p.

TORQUATO, S.A. **Cana-de-açúcar Para Indústria: O Quanto Vai Precisar Crescer**. Instituto de Economia Agrícola. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 1, n. 10, out. 2006.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUÊS, J.C.S.; VICTORIA, R.L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Manejo do nitrogênio e enxofre na nutrição e adubação de cana-de-açúcar. In: Simpósio de tecnologia de produção de cana-de-açúcar, **Anais**, Piracicaba, SP, n. 1-46, 2005.

TUFAILE NETO, M.A. Characterization of sugar cane trash and bagasse. In SULEIMANS J.H, LEAL M.R.L.V, MACEDO I.A (Ed.). Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash: **PNUD-CTC**, Piracicaba, n. 1, p. 24-26, 2005.

UNFCCC: **United Nations Framework Convention on Climate Change**. Protocol of Kyoto, Convention on Climate Change. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>> Acesso em: 14 jul. 2012.

UNICA. **União da Indústria da Cana-de-açúcar**. A sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/sustentabilidade.php>> Acesso em: 22 dez. 2012.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M; DE BARROS SOARES, R.H. Mitigação das Emissões de Gases Efeito Estufa pelo Uso de Etanol da Cana-de-açúcar Produzido no Brasil. Revista de Política Agrícola, **Seropédia**, RJ, v. 27, p. 1-14, 2009.

URQUIAGA, S; BODDEY, R.M; OLIVEIRA, O.C. de; LIMA, E.; GUIMARÃES, D.H.V. A Importância de não Queimar a Palha na Cultura de Cana-de-açúcar. Comunicado Técnico. **EMBRAPA/CNPBS**, n. 5, p. 1-6, mar. 1991.

VANDENBYGAART, A.J.; KAY, B.D. Persistence of soil organic carbon after plowing a long-term no-till field in southern Ontario, Canada. **Soil Science**. Soc. Am. J. v. 68, p. 1394–1402, 2004.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 249-256, 2007.

WANG, Q.; LI, Y.; ALVA, A. Cropping systems to improve carbon sequestration for mitigation of climate change. **Journal of Environmental Protection**, v. 1, p. 207-215, 2010.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M.A. Rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.19, p. 1467-1476, 1988.

YOUNG, I.M.; RITZ, K. Tillage, habitat space and function of soil microbes. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 201-213, 2000.

YU, C.M. Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. **Annablume IEB**, São Paulo, 2004. 280p.