

## AGRICULTURA E AQUECIMENTO GLOBAL: EFEITOS E MITIGAÇÃO

Glaucilene Duarte Carvalho<sup>1</sup>

### RESUMO

O presente estudo teve o objetivo de abordar o problema do aquecimento global, a contribuição da agricultura para o efeito estufa, o efeito dessas mudanças climáticas no setor agrícola e, ao mesmo tempo, identificar opções de mitigação das emissões causadas por atividades agrícolas. Diante do exposto, a mudança desse cenário e a adoção de estratégias eficazes que possibilitem a redução das emissões de gases de efeito estufa só serão possíveis com estudos regionais, que quantifiquem a emissão de cada atividade agrícola levando em conta os sistemas de manejo e as características locais de solo e clima. A questão das mudanças climáticas precisa, portanto, passar por uma avaliação mais detalhada com o intuito de se determinar o papel da natureza e o da ação humana no processo.

**Palavras-chave:** gases de efeito estufa, mudanças climáticas, sequestro de carbono.

### ABSTRACT

The present study aimed to address the problem of global warming, agriculture's contribution to the greenhouse effect, the effect of climate change on agriculture and at the same time, identify options for mitigating emissions caused by agricultural activities. Given the above, the change of scenery and the adoption of effective strategies that allow the reduction of emissions of greenhouse gases are only possible with regional studies, which quantify the emission of each activity taking into account agricultural management systems and local features soil and climate. The issue of climate change must therefore undergo a more detailed evaluation in order to determine the role of nature and human action in the process.

**Key-words:** greenhouse gases, climate change, carbon sequestration.

### INTRODUÇÃO

A necessidade de alimentos para uma população que cresce aceleradamente está cada vez mais ameaçando os recursos naturais e forçando a abertura de novas áreas agrícolas. A sustentabilidade de sistemas de produção agrícola depende, entre outros fatores, da manutenção e da qualidade do ambiente. A situação é sensível e deve ser ainda mais agravada pelos potenciais impactos do aquecimento global e das alterações climáticas sobre as condições de crescimento das culturas. Uma preocupação ambiental recente é o aumento da concentração dos gases dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) na atmosfera, a qual é responsável pelo aquecimento global (IPCC, 2001).

Os gases de efeito estufa existem naturalmente na atmosfera, porém este aumento de concentração causa um forçamento radioativo positivo que tende a aquecer a baixa atmosfera e a superfície terrestre. Do ponto de vista científico e global, mudanças climáticas são causadas por forças naturais e antropogênicas (IPCC, 2001). No Brasil, a proporção entre as contribuições de gases de efeito estufa da queima de combustíveis fósseis *versus* agricultura e uso da terra é

<sup>1</sup> Engenheira Agrônoma, Aluna do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia, GO. E-mail: glaucilene\_agro@yahoo.com.br.

diferente em comparação ao padrão mundial. Queima de combustíveis fósseis é menos importante (BRASIL, 2004), enquanto a utilização dos solos e alteração da agricultura respondem por mais de dois terços do total das emissões.

O Brasil, localizado quase inteiramente na zona tropical, não é uma exceção a esta regra e, portanto, é suscetível a uma redução na produção agrícola e pecuária. Além disso, a agricultura compreende o maior setor da economia brasileira, representando 29% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2002, e cerca de 47,5% das exportações brasileiras em 2003. Portanto, a compreensão das possíveis impactos das alterações climáticas sobre a agricultura brasileira é um ponto essencial para os decisores governamentais, a fim de não comprometer a produção alimentar interna e das exportações agrícolas (CERRI et al., 2007).

Os solos agrícolas podem atuar como dreno ou fonte de gases de efeito estufa (GEE), dependendo do sistema de manejo a que forem submetidos (IPCC, 2001). Sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de carbono (C) no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO<sub>2</sub> atmosférico e mitigação do aquecimento global. Práticas agrícolas como aração e gradagem intensificam os processos microbianos no solo e fazem com que o C do solo volte para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>. Já o PD associado à rotação de culturas com alto aporte de resíduos, pode ser uma alternativa para reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e aumentar os estoques de C no solo (SÁ et al., 2001).

Sendo a agropecuária uma das responsáveis pela emissão de gases poluentes que provocam o aquecimento global, caberá a esta a responsabilidade de encontrar soluções para os problemas ligados ao setor agrícola e buscar alternativas para que possam minimizar esses danos. Como a agricultura é totalmente dependente do clima se nada for feito, em pouco tempo, haverá uma grave crise mundial provocada pela falta de água potável e de alimentos.

Este estudo tem o objetivo de abordar o problema do aquecimento global, a contribuição da agricultura para o efeito estufa, o efeito dessas mudanças climáticas no setor agrícola e, ao mesmo tempo, identificar opções de mitigação das emissões causadas por atividades agrícolas.

## **O EFEITO ESTUFA E O AQUECIMENTO GLOBAL**

O Sol envia sobre a Terra um fluxo de radiação de ondas curtas (na faixa de 0,55 µm), parte desta radiação ao atingir a superfície terrestre muda as características físicas e é refletida sob a forma de calor como um fluxo de radiação de onda longa na faixa do infravermelho (cerca de 13 µm). A radiação incidente é pouco absorvida pela atmosfera, por outro lado, parte da radiação refletida pela superfície terrestre é retida na atmosfera devido a presença de certos componentes gasosos, os “gases estufa”, entre os quais se destacam o gás carbônico, o metano, o óxido nítrico e o vapor d’água. Desta forma, o efeito estufa consiste no aquecimento global causado pelo aprisionamento na atmosfera de parte do calor gerado pela interação da luz solar com a superfície terrestre (OLIVEIRA et al., 2003).

Entretanto, aumentos recentes nas concentrações de gases-traço, ou gases de efeito estufa (GEE), na atmosfera, devido à atividade antrópica, em grande parte associada a países mais desenvolvidos, têm causado impacto no balanço de radiação solar do Planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da terra (LIMA, 2002). Os GEE provocam o desequilíbrio energético entre as radiações solares na forma de ondas curtas que incidem no topo da atmosfera e as radiações de ondas

longas na faixa do infravermelho que são re-emitidas pela terra. Como parte dessa energia é absorvida pelos GEE, ocorre um aquecimento da atmosfera maior do que aquele que seria causado somente pela radiação solar. O clima se ajusta para compensar esse desequilíbrio energético e origina o fenômeno denominado “mudanças climáticas globais”. Essas mudanças podem ter um reflexo negativo na sustentabilidade do homem na terra, interferindo nos ecossistemas naturais, assim como na produção de alimentos (IPCC, 2001).

Segundo Oliveira et al. (2003), a contribuição dos gases no efeito estufa depende basicamente de dois fatores: sua concentração na atmosfera e seu poder de aquecimento molecular, sendo que o elemento utilizado como referência é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por ser o gás de efeito estufa mais abundante na atmosfera e de maior contribuição no aquecimento global. O metano tem poder 23 vezes maior do que o dióxido de carbono para reter calor e o óxido nitroso consegue ser 296 vezes mais “eficiente” na retenção de calor do que o dióxido de carbono (IPCC, 2001).

### CONTRIBUIÇÃO DA AGRICULTURA NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Dentre as diferentes atividades antrópicas o complexo agropecuário são os responsáveis por grande parte da emissão de gases de efeito estufa no Brasil e no mundo. Segundo Duxbury (1994), as atividades agrícolas contribuem com cerca de 25%, 65% e 90% do total das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, respectivamente. A Tabela 1 sumariza a significância dos principais gases-traço para o aumento do efeito estufa.

**Tabela 1.** Gases-traço atmosféricos significantes para o aumento do efeito estufa.

	Gás carbônico (CO <sub>2</sub> )	Metano (CH <sub>4</sub> )	Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)
Principal fonte antrópica	Combustíveis fósseis, desflorestamento	Cultivo de arroz inundado, pecuária, combustíveis fósseis, queima de biomassa	Fertilizantes, conversão do uso da terra
Tempo de vida na atmosfera	50-200 anos	10 anos	150 anos
Taxa anual atual de aumento	0,5%	0,9%	0,3%
Contribuição relativa ao efeito estufa antrópico	60%	15%	5%

Fonte: Krupa (1997) adaptado por Cardoso et al. (2001).

A previsão do impacto do aumento da temperatura em ecossistemas naturais e em agroecossistemas é bastante impreciso. De acordo com IICA (2009) tem-se previsto que a produção de alimentos em todo o mundo pode sofrer um impacto dramático nas próximas décadas por conta das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, sendo que o aumento da temperatura pode

ameaçar o cultivo de várias plantas agrícolas e pode piorar o já grave problema da fome em partes mais vulneráveis do planeta.

O inadequado manejo do solo origina vários processos degradativos. A degradação do solo por processos físicos, químicos e biológicos faz com que o solo seja uma fonte de GEE. Especialmente a degradação biológica pode influenciar drasticamente o efluxo de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> e CFCs e diminuir o influxo de CH<sub>4</sub>. A magnitude e tipo de emissões de GEE a partir de processos de degradação do solo dependem do uso, sistemas de cultivo e manejo do solo. O manejo do solo afeta a dinâmica do C e emissões gasosas através de sua influencia nas propriedades e processos do solo (LIMA, 2002).

A contribuição da agricultura para o efeito estufa antropogênico pode ser reduzida, sendo o desenvolvimento de sistemas de manejo do solo com capacidade para mitigar as emissões de GEE uma importante etapa. Neste sentido, mitigar significa intervenção antrópica no sentido de desenvolver sistemas que reduzam as emissões ou aumentem os drenos de GEE (IPCC, 2005).

### **Emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de monóxido de carbono (CO)**

Machado (2005) afirma que os quatro principais compartimentos de carbono na Terra são: oceanos, atmosfera, formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral e ecossistemas terrestres (biota + solo). O compartimento de carbono do solo (2500 Pg C) é o maior nos ecossistemas terrestres (aproximadamente 4 vezes o compartimento de C da vegetação e 3,3 vezes o carbono da atmosfera) e é constituído pelo carbono orgânico (1500 Pg C) e mineral (1000 Pg C). Numa escala global, estima-se que a respiração do solo envia para a atmosfera 75 bilhões de toneladas de carbono por ano, sendo a segunda maior fonte de emissão desse elemento para a atmosfera, depois dos oceanos (IPCC, 2001).

De acordo com o IPCC (2001), o funcionamento de fábricas, o uso de transportes urbanos e rodoviários, a geração de energia elétrica e o aquecimento dos lares vêm sendo obtidos pela queima de derivados desses combustíveis fósseis que em sua combustão, emitem grandes quantidades de dióxido de carbono para a atmosfera. Outro processo resultante da ação humana que emite CO<sub>2</sub> para a atmosfera em quantidade excessiva são as queimadas e derrubadas de florestas (mudanças no uso da terra). É nesse setor que está o maior comprometimento do Brasil em relação à emissão global, devido ao desmatamento.

O dióxido de carbono e o monóxido de carbono são produzidos na queima de biomassa (resíduos agrícolas, pastagens, cerrados e florestas). O fogo libera carbono da biomassa durante a combustão e acentua diretamente a liberação de carbono do solo, do qual a vegetação foi queimada. Além disso, o solo exposto tende a acelerar a erosão e possivelmente leva a um aumento da taxa de mineralização do reservatório de carbono orgânico (LIMA, 2002). Esta produção no interior do solo está relacionada às atividades biológicas, incluindo a respiração das raízes e a decomposição da matéria orgânica do solo pela atividade microbiana. A emissão de CO<sub>2</sub> é resultado da interação dos processos de produção e transporte desse gás no interior do solo. Tais processos são fortemente influenciados pelas condições de temperatura e umidade do mesmo (SÁ et al., 2001).

O balanço dos estoques de carbono orgânico no solo é utilizado como um método indireto para a estimativa do influxo/efluxo líquido de C-CO<sub>2</sub> no sistema solo-atmosfera. Solos, sob vegetação natural, apresentam estoque de C orgânico estável, porém quando cultivados resulta na diminuição dos estoques de C orgânico

do solo. Isso ocorre devido o aumento do efluxo de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e, nesse caso, a quantidade líquida de CO<sub>2</sub> emitida para a atmosfera pode ser determinada a partir da diferença dos estoques de carbono orgânico do solo cultivado em relação ao solo sob vegetação natural (COSTA et al., 2008).

Os valores médios de emissões de gases provenientes na queima de resíduos de cana de açúcar no Brasil, no período de 1986 a 1996, foram estimados em 2.515,59 Gg de CO, sendo que a região Sudeste foi responsável por 64,1% dessas emissões, devido representar 57,7% da área colhida com cana de açúcar (EMBRAPA, 2002). Para o ano de 1990, a queima de cana-de-açúcar contribuiu com 96,5% e o algodão com 3,5% do total das emissões de CH<sub>4</sub> e CO provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil. Em 1994, essa proporção alterou-se para 97,9% e 2,1%. Nesse ano, a queima da cultura de cana e de resíduos de algodão herbáceo contribuiu com emissões de 2.787,16 Gg de CO (EMBRAPA, 2002).

Costa et al. (2008) estudando a relação e emissão de CO<sub>2</sub> em dois sistemas de preparo do solo e relacionando esta com a temperatura encontraram que na média dos sistemas de manejo (sistemas de preparo + sistemas de culturas), a emissão de C-CO<sub>2</sub> apresentou correlação com a temperatura do solo. No entanto, o coeficiente de correlação, na média dos sistemas de culturas, foi maior para o sistema plantio convencional (PC) do que para o plantio direto (PD), indicando que houve relação mais direta da emissão de C-CO<sub>2</sub> em relação à temperatura do solo em PC e que outros fatores, além da temperatura do solo, podem estar influenciando a emissão de C-CO<sub>2</sub> do solo em PD. Nesse caso, a ausência de cobertura do solo em PC, ao permitir incidência direta de raios solares, aumentou a temperatura do solo, que, por sua vez, intensificou a atividade microbiana, demonstrada pelo aumento da emissão de C-CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera.

Oliveros (2008) avaliando a taxa média do fluxo de C-CO<sub>2</sub> em sistema plantio direto (PD) e em sistema convencional (PC) encontrou, com a câmara dinâmica, 13,12 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no solo em PC e 17,73 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no solo em PD, portanto no PD houve um aumento no fluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo equivalente a 26,15% em relação ao PC, contrastando com as medições registradas com a câmara estática que variaram entre 15,09 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no solo em PC e 14,73 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no solo em PD. Esta maior emissão de C-CO<sub>2</sub> foi relacionada com o maior estoque de carbono na camada superficial do solo, à presença de resíduos de soja facilmente decomponíveis, à maior umidade do solo e à maior atividade biológica devido à melhoria da qualidade do solo em relação ao PC.

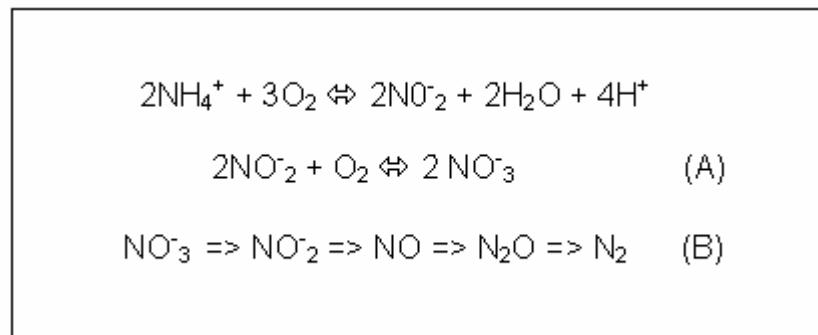
### **Emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)**

A perda de nitrogênio (N) do sistema solo-planta não tem repercussões apenas econômicas, mas também ambientais, especialmente quando óxidos de N são emitidos para a atmosfera. Atualmente, o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) tem recebido maior atenção, principalmente por contribuir para o efeito estufa e para a destruição da camada de ozônio (GIACOMINI et al., 2006).

Processos que ocorrem na superfície terrestre são a principal fonte de N<sub>2</sub>O para a atmosfera, assim sendo, mudanças no uso da terra podem modificar os níveis das emissões e influenciar a sua concentração na atmosfera (IPCC, 2001). A emissão de N<sub>2</sub>O provém, principalmente, do uso de fertilizantes nitrogenados, da fixação biológica de nitrogênio, da mineralização da matéria orgânica adicionada, da adição ou depósito de dejetos animais nos solos, da lixiviação de solos e da queima de resíduos agrícolas (LIMA, 2002). De acordo com Embrapa (2002), durante a

queima de resíduos agrícolas, o  $N_2O$  é gerado, predominantemente, na fase de combustão com presença de chama e, de acordo com IPCC (2001), representando em torno de 9% das emissões provenientes de todas as atividades humanas.

A nitrificação e a desnitrificação são processos microbiológicos que ocorrem nos solos que mais contribuem para as emissões de  $N_2O$  (CARDOSO et al., 2001). A nitrificação é o processo de oxidação aeróbica de amônio a nitrito ou nitrato, e a desnitrificação é a redução anaeróbica de nitrato sendo os principais gases resultantes o  $N_2O$  e o  $N_2$  (Figura 1). Nos solos inundados, o processo de nitrificação quase cessa devido à falta de oxigênio, ocorrendo somente na camada superficial devido à difusão do oxigênio através da água. Já o processo de desnitrificação é favorecido em solos saturados, pois as bactérias responsáveis por esse processo são, em sua maioria, facultativas anaeróbicas. Este processo é controlado principalmente pelo teor de matéria orgânica, pH do solo e temperatura (FAGERIA et al., 2003).



**Figura 1.** A nitrificação ocorre em duas etapas (A) e a desnitrificação, em quatro etapas, com reduções sucessivas do N (Fonte: adaptado de FAGERIA et al., 2003).

O aumento das adições de fertilizantes nitrogenados sintéticos aos solos agrícolas tem sido indicado como principal responsável pela crescente emissão de  $N_2O$  para a atmosfera. Gonçalves (2002) estudou a emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ) numa cultura de feijoeiro comum utilizando dois tipos de fertilizantes: orgânico e inorgânico, além do controle (sem fertilizante). A variação do fluxo medido foi de 1,5 a 17,6  $\mu g (N_2O) m^{-2} h^{-1}$  para a parcela não fertilizada, 3,5 a 68,8  $\mu g (N_2O) m^{-2} h^{-1}$  para a parcela com o lodo de esgoto e entre 3,5 e 78,1  $\mu g (N_2O) m^{-2} h^{-1}$  para a parcela do sulfato de amônio. O óxido nitroso emitido representou 0,70 a 1,65% do nitrogênio aplicado ao solo.

Cai et al. (1997) observaram aumentos significativos da emissão de  $N_2O$  em campos de arroz inundado, sob regime intermitente de água, com o aumento da taxa de aplicação de nitrogênio, sobretudo na forma de sulfato de amônio. Esses autores mostram que ciclos alternativos de anaerobiose e aerobiose aumentavam a emissão de  $N_2O$  em relação às condições de anaerobiose ou aerobiose permanentes. Acredita-se que a maior parte da produção  $N_2O$  é resultado de desnitrificação dos nitratos provenientes de fertilizantes nitrogenados. As estimativas da produção de  $N_2O$  a partir de campos de arroz vão de 0,01 a 1% do N do fertilizante aplicado (RENNENBERG et al., 1992, apud DENMEAD, 1995).

A concentração desse gás foi recentemente estudada e foi verificado que esta tem aumentado nas últimas décadas e continua a aumentar anualmente a uma taxa de 0,25% (KAISER et al., 1998). As práticas antropogênicas causaram um

aumento na faixa de 1,91 Tg N<sub>2</sub>O a 2,86 Tg N<sub>2</sub>O, sendo que a emissão dos solos é considerada a principal fonte (DUXBURY, 1994).

No Brasil, em 1990, as emissões totais de N<sub>2</sub>O provenientes de solos agrícolas foram estimadas em 425,66 Gg (Gg = 10<sup>9</sup> grama). Em 1994, as emissões totais de N<sub>2</sub>O somaram 475,99 Gg, dos quais 26% corresponderam às emissões diretas de solos agrícolas; 28% às emissões indiretas de solos agrícolas (deposição atmosférica ou volatilização, lixiviação e escoamento) e 46% às emissões a partir de animais em pastagem. Em relação às emissões diretas de solos agrícolas, a Região Centro-Oeste encontra-se em terceiro lugar com 21,98 Gg em emissões, atrás da Região Sul (45,76 Gg) e Sudeste (34,03 Gg), estando o Estado de Goiás em 11º lugar com taxas de emissão entre 15 e 45 Kg de N<sub>2</sub>O Km<sup>-2</sup> (EMBRAPA, 2006a).

De acordo com Embrapa (2006a), as principais contribuições, em 1994, foram as referentes aos resíduos agrícolas (34% ou 43,09 Gg N<sub>2</sub>O emitidos) e à fixação biológica (21% ou 26,39 Gg N<sub>2</sub>O emitidos). As emissões de N<sub>2</sub>O a partir do uso de fertilizantes sintéticos foram estimadas em 20,76 Gg N<sub>2</sub>O (17%) e, a partir da aplicação de esterco, em 12,95 Gg N<sub>2</sub>O (10%). As emissões de N<sub>2</sub>O provenientes do cultivo de solos com alto conteúdo orgânico foram estimadas em 22,53 Gg (18%).

A adição de fertilizante amoniacal aos sistemas agrícolas cria uma fonte antrópica de N<sub>2</sub>O derivada da nitrificação. Já as emissões de N<sub>2</sub>O provenientes da desnitrificação são altamente variáveis porque o N<sub>2</sub>O não é o produto terminal da desnitrificação, sendo que as emissões de N<sub>2</sub>O são, em geral, maiores em ambientes úmidos (DUXBURY, 1994). Madari et al. (2007) estudando as emissões do solo cultivado com o feijoeiro comum encontraram uma emissão equivalente a 295 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, na área adubada com 80 kg N ha<sup>-1</sup>, e na área não adubada, 198 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Assim, 97 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> foram emitidos oriundo do fertilizante.

O preparo do solo pode ocasionar efeitos significativos nas emissões de N<sub>2</sub>O do solo. Estudos conduzidos em condições de clima temperado e tropical têm apresentado tendências de maiores emissões de N<sub>2</sub>O em solos sob PD do que em PC, o que está relacionado à condição de maior compactação do solo não revolvido e que teria reflexo negativo na difusão de O<sub>2</sub>. Em várias pesquisas, tem sido demonstrada maior emissão de N<sub>2</sub>O a partir de solos sob PD, devido à compactação, porosidade reduzida e aumento da desnitrificação (GOMES, 2006).

Giacomini et al. (2006) estudaram a emissão de óxido nitroso em plantio direto com a aplicação dos dejetos líquidos de suínos em plantio direto não aumenta a emissão de N<sub>2</sub>O em relação à aplicação dos dejetos no sistema de preparo reduzido do solo. A perda de N pela emissão de N<sub>2</sub>O com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo é pequena, representando menos de 0,30% da quantidade de N total aplicada. O aumento do espaço poroso ocupado por água resulta em maiores emissões de N<sub>2</sub>O.

### **Emissão de metano (CH<sub>4</sub>)**

O metano é produzido em condições anaeróbicas associadas com a fermentação entérica em ruminantes, lavouras de arroz inundado e tratamento anaeróbico de resíduos animais. O metano também é produzido durante a queima de biomassa (LIMA, 2002). De acordo com IPCC (2001), as fontes antropogênicas são responsáveis por cerca de 70% das emissões, sendo que 55% são ocasionadas por atividades agrícolas, sendo as principais o cultivo de arroz irrigado por inundação, a pecuária doméstica e seus dejetos, a queima de resíduos agrícolas. O

cultivo em zonas úmidas e em solos submersos, e a adição de matéria orgânica são fatores que também favorecem as emissões de CH<sub>4</sub> (LE MER & ROGER, 2001).

A necessidade de transportar oxigênio (O<sub>2</sub>) atmosférico para a manutenção da respiração aeróbica em raízes desenvolvendo-se em condições de ausência de oxigênio força as plantas de arroz a desenvolverem aerênquimas (espaços intercelulares), tanto nas raízes quanto na parte aérea. O efeito da presença de plantas de arroz é fundamental para o processo de emissão de metano, visto que 60 a 90% do gás que chega a atmosfera passa pelas plantas de arroz e, na ausência de vegetação, a quantidade emitida é insignificante (WASSMANN et al., 1996, apud AGOSTINETTO et al., 2002).

A inundação do solo altera o caráter da flora microbiana edáfica, diminuindo a concentração de O<sub>2</sub>. A fermentação é um dos principais processos bioquímicos responsáveis pela decomposição de matéria orgânica em solos inundados, entre os principais produtos do processo fermentativo nestes solos estão o N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> que normalmente constituem a maior parte da fase gasosa dos solos alagados (MOSIER et al., 2004).

A matéria orgânica rica em carbono presente nesses solos constitui o fator mais importante para a produção de metano, tendo como origem as raízes mortas de plantas de arroz, as algas e plantas aquáticas na água de inundação, exudatos de raízes (secreções) de plantas de arroz, fertilizantes orgânicos adicionados e a matéria orgânica existente no solo. Os materiais mais facilmente degradáveis contribuem para taxas mais elevadas de produção de metano. Além do tipo de substrato orgânico, a composição, a textura e, principalmente, a temperatura dos solos são fatores que influenciam a produção de metano nos campos de arroz inundado. O metano produzido nos campos de arroz é liberado para a atmosfera por várias rotas, sendo a principal delas por transporte difusivo pelo aerênquima (CARDOSO et al., 2001).

As emissões de metano provenientes das culturas de arroz inundado no País foram estimadas em 240 Gg em 1990 e 283 Gg em 1994. Em 1994, as emissões de metano provenientes do cultivo de arroz continuamente inundado somaram 261 Gg (92,2%), em regime intermitentemente inundado 0,6 Gg (0,2%) e em regime de várzea 21,4 Gg (7,6%) do total estimado do cultivo de arroz inundado (EMBRAPA, 2006b).

Outra forma de emissão de CH<sub>4</sub> é a proveniente da ação dos ruminantes. A produção de CH<sub>4</sub> é parte do processo digestivo dos herbívoros ruminantes e ocorre no rúmen durante o metabolismo dos carboidratos do material vegetal ingerido. A emissão de CH<sub>4</sub> varia entre 4% e 9% da energia bruta do alimento ingerido, e a média encontrada é de 6%. A emissão global de CH<sub>4</sub> pelos processos entéricos é estimada em cerca de 80 teragramas ao ano (Tg), correspondendo a 22% da emissão total de CH<sub>4</sub> gerada por fontes antrópicas, e a emissão proveniente de dejetos animais são estimadas em cerca de 25 Tg ano<sup>-1</sup>, correspondendo a 7% da emissão total (ESTADOS UNIDOS, 2000).

As categorias de gado de corte e leiteiro foram as principais contribuintes para as emissões de metano geradas pela pecuária no ano de 1990 (9.168,87 Gg de CH<sub>4</sub>), correspondendo a 80,5% e 13,7% das emissões totais de pecuária, respectivamente. As outras categorias de animais foram responsáveis pelos 5,8% restantes. Em 1994, as categorias de gado de corte e de leite contribuíram com 80,9% e 13,5%, respectivamente, para o total das emissões no ano (9.772,87 Gg de CH<sub>4</sub>). Em 1994, as emissões de metano provenientes de sistemas de manejo de dejetos de animais foram estimadas em 373,45 Gg (média de 371,74 ± 14,66 Gg no



período de 1993 a 1995), sendo que 53% foram atribuídas à categoria de gado de corte, 16% à de gado de leite, 16% à de aves e 8% à de suínos (EMBRAPA, 2006c).

Pereira et al. (2006) estudaram o potencial emissivo de metano por bovinos de diferentes categorias e concluíram que o volume de gás produzido por estas variou de acordo com a natureza fibrosa do alimento utilizado, sendo, portanto mais dependente deste do que de características fisiológicas do animal.

### EFEITOS DO AQUECIMENTO GLOBAL NA AGRICULTURA

A agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos, tais como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar (LIMA, 2002). Os impactos do aquecimento global poderão ter amplos reflexos no meio ambiente. Além dos efeitos diretos da elevação da temperatura sobre os organismos, o aquecimento global poderá também afetar os padrões regionais de precipitação e de evapotranspiração, o que terá repercussão em todo regime hidrológico, biológico e agrícola, comprometendo o funcionamento dos ecossistemas e agroecossistemas pela alteração na oferta de serviços ambientais como disponibilidade de água, fertilidade e conservação do solo, biodiversidade, entre outros. Além disso, poderá ocorrer diminuição da produção de alimentos pela redução da produtividade das culturas, maior incidência de pragas e doenças e redução das áreas propícias para plantio (FERNANDES & FERNANDES, 2008).

Hilton Pinto, diretor do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri) pesquisou cenários que levam em conta a elevação da temperatura média no Brasil em 1,3 e 5,8 °C até o final deste século, o impacto das mudanças sobre cinco das principais culturas agrícolas do País: arroz, feijão, milho, soja e café, as condições de solo nas maiores regiões produtoras e aumentos de 5%, 10% e 15% nos índices médios de precipitação pluviométrica. O estudo contemplou uma possibilidade de acerto de 80% e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2 (VEIGA FILHO, 2007).

**Tabela 2.** Perdas estimadas de produção das principais culturas do país em função do aumento da temperatura mundial média.

Cultura	Aumento da temperatura	
	+ 1 °C	+ 3 °C
Arroz	4%	18%
Feijão	3%	11%
Milho	2%	7%
Soja	10%	39%
Café	23%	58%

Fonte: adaptado de Veiga Filho (2007).

O mesmo pesquisador afirmou ainda: “O aumento da temperatura afeta as culturas mais sensíveis, causando perda de água por aumento da “evapotranspiração”, conseqüentemente, a redução da fotossíntese, diminuição da capacidade reprodutiva e baixa produtividade. Quando a temperatura supera 34 °C por períodos prolongados, ocorre o abortamento das flores.” Nas lavouras de café, as mais analisadas pelos pesquisadores do Cepagri e da Embrapa, os efeitos da elevação da temperatura já são observados em São Paulo, na região Noroeste,

antiga fronteira de expansão do café, que passa a abrigar seringais em escala crescente (PINTO apud por VEIGA FILHO, 2007).

Segundo Pinto et al. (2002), considerando o cenário de aumento das temperaturas, pode-se admitir que, nas regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas, a anomalia positiva que venha a ocorrer será desfavorável ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menos apta se tornará a região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Por outro lado, outras culturas mais resistentes a altas temperaturas, provavelmente serão beneficiadas, até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente sejam limitantes ao desenvolvimento de culturas susceptíveis a geadas, com o aumento do nível térmico devido ao aquecimento global passarão a exibir condições favoráveis ao desenvolvimento da planta.

Na Tabela 3 observa-se que o potencial atual de cultivo econômico de café arábica no estado de São Paulo corresponde a uma área de 97.848 Km<sup>2</sup>, ou seja, 39,4% da área do estado. No caso extremo considerado pelo IPCC, de 5,8° C de aumento da temperatura e 15% de chuvas, a área apta fica sendo de apenas 2.738 Km<sup>2</sup>, ou 1,1% do estado.

**Tabela 3.** Áreas, em Km<sup>2</sup> e porcentagem, disponíveis ao plantio de café no estado de São Paulo com condições climáticas distintas, atuais e simuladas para 15% de aumento das chuvas e de 1° C, 3° C e 5,8° C na temperatura.

Condição	Apto	Restrita por geadas	Restrita por temp.elevada	Inapta
Atual	97.848	57.428	39.604	53.013
+ 1 °C	74.42	17394	54.387	102.389
+ 3°C	37.137	0	38.240	173.211
+ 5,8°C	2.738	0	5.51	240.301

Fonte: adaptada de Pinto et al. (2002).

Com base em dados da Confederação Nacional da Agricultura (CNA), é possível estimar as perdas econômicas como consequência do “efeito estufa”, provocado pelo aquecimento global. Das safras de 2004 e 2005, o valor bruto da produção das culturas analisadas caiu de R\$ 73,8 bilhões para R\$ 52,9 bilhões, acumulando uma perda significativa de R\$20,8 bilhões, apenas nas duas últimas safras (PINTO apud VEIGA FILHO, 2007).

No cenário estudado por Hilton Pinto com perdas de produtividade média de 27%, na soma das culturas estudadas (arroz, feijão, soja, milho e café), haveria prejuízos da ordem de R\$ 24 bilhões/ano, em valores de 2006 e, por ironia, quanto mais elevada a cotação daqueles produtos, maior será a perda para os agricultores. O que oferece a chance de potencializar os ganhos num cenário de maior preservação da natureza.

Siqueira et al. (2001) relataram que simulações mostram um aumento na temperatura média do ar entre 3 a 5 ° C e um aumento de cerca de 11% na precipitação média para a região Centro-Sul ao longo do ano 2050. Este cenário poderia causar uma redução de 30 e 16% das produções de trigo e milho, respectivamente, e um aumento de cerca de 21% na produção de soja. Os principais problemas decorrentes de chuvas adicionais estão relacionados a maior

probabilidade de doença incidências, maiores dificuldades no cultivo e manejo do solo mais elevados riscos de erosão hídrica.

A pecuária também será afetada pelo aquecimento do planeta, pois é tão ou mais sensível do que a agricultura. Os pesquisadores alertam para os riscos de redução na produção de leite, incremento das taxas de aborto e redução de prenhes. No caso dos suínos, espera-se um aumento na taxa de mortalidade durante a gestação e no nascimento dos leitões. Para as aves, prevê-se queda na produção e o aumento de postura de ovos sem casca, afetando a oferta de animais para reprodução e abate. Todos esses fatores indicam mais trabalho para os especialistas em conforto animal (VEIGA FILHO, 2007).

## **MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

### **Campos inundados de arroz**

Os gases traço, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, são produzidos em solos sob condições anaeróbicas por numerosos processos microbianos. Campos de arroz irrigado, que constituem cerca de 9% de todas as terras cultivadas, são tidos como importantes fontes de gases, especialmente CH<sub>4</sub>. Os dados relativos a emissões de N<sub>2</sub>O a partir de campos de arroz são ainda menos do que para CH<sub>4</sub> (RENNENBERG et al., 1992, apud DENMEAD, 1995).

Desde que a produção de metano ocorre em solos sob condições de anaerobiose, regimes de inundação intermitentes, condicionados às precipitações pluviométricas, ou de múltipla aeração devem promover redução das emissões de metano. Outras opções de redução incluem (LIMA, 2002):

- o desenvolvimento de novas cultivares, seleção e geração de plantas de arroz com baixas taxas de emissões de metano;
- aceleração da decomposição de metano através da oxidação por breves interrupções da inundação. O aumento da drenagem de água (troca da lâmina d'água) e a secagem intermitente do solo ou no fim da estação de crescimento resulta na oxidação do metano retido no solo. Sabe-se, contudo, que ciclos alternativos de anaerobiose e aerobiose, que favorecem a redução das emissões de metano, aumentam a emissão de N<sub>2</sub>O, quando comparado às condições de anaerobiose ou aerobiose permanentes;
- modificação do manejo de fertilização, de forma que se opte pela adição de material orgânico compostado, onde a matéria orgânica facilmente mineralizável encontra-se já decomposta e humificada, fornecendo menos substrato para as bactérias metanogênicas.

Corton et al. (2000) estudaram a emissão de metano em cultivo de arroz irrigado e observaram que o uso de sulfato de amônio como fertilizante nitrogenado, em substituição de uréia resultou em uma redução de 25-36% das emissões CH<sub>4</sub>. A prática de semeadura direta, em vez de transplante resultou em uma redução de 16-54% das emissões CH<sub>4</sub>, mas os mecanismos para reduzir o efeito não são claros. Modificações em adubo orgânico e inorgânico de gestão e regime hídrico não afetam negativamente a produção de grãos e, portanto, são opções potenciais de mitigação.

A taxa de emissão de metano é altamente sensível ao manejo da água. Drenagens periódicas resultam em decréscimos na emissão de metano e podem representar o método mais eficiente para minimizar a emissão do gás. Assim, Sass & Fisher Jr. (1997) verificaram que uma única drenagem durante a estação de

crescimento do arroz reduziu a taxa de emissão de metano em 50%. Adicionalmente, múltiplas drenagens (2 a 3 dias), aproximadamente a cada 3 semanas durante toda a estação de crescimento, reduziram a emissão de metano para valores insignificantes.

Existe variabilidade entre cultivares de arroz com relação às características morfológicas e o padrão de emissão de metano. Dessa forma, uma meta do melhoramento genético deveria ser a de identificar características de planta mais relacionadas à produção e à emissão de metano e o desenvolvimento ou a seleção de cultivares que apresentem menor potencial de emissão desse gás (AGOSTINETTO et al., 2002).

### **Queima da biomassa na agricultura**

A queima de resíduos agrícolas nos campos liberam, além do metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e monóxido de carbono (CO). As opções de mitigação para as emissões de carbono a partir da queima de biomassa estão em parte associadas à redução das emissões a partir de fontes atuais de gases e em parte ao aumento das alternativas de sequestro de carbono. Sob o primeiro aspecto, há que se considerar os cenários de diminuição da prática de queima de resíduos agrícolas no País e de incremento do uso da biomassa como fonte de energia renovável. A substituição de combustível fóssil por biogás em diversas operações agrícolas representa uma opção adicional para a mitigação de CO<sub>2</sub> no País (LIMA, 2000).

Entre as medidas possíveis para reduzir as emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil destacam-se (LIMA, 2002):

- corte mecânico da cana-de-açúcar e aproveitamento energético da biomassa, com consequente diminuição de desperdícios de matéria vegetal e energia;
- a redução de queimadas de culturas e de seus resíduos;
- uso de práticas agrícolas de conservação dos solos;
- aplicação e implantação de legislação relacionada com o controle de queimadas nas unidades de federação.

A cana de açúcar colhida mecanicamente sem queima, no Brasil, apresenta 0,48 Mt C ano<sup>-1</sup> sequestrado no solo e evita a emissão de 0,05 Mt C ano<sup>-1</sup> de metano, totalizando uma redução de 0,53 Mt C ano<sup>-1</sup> de emissões de gases de efeito estufa pelo setor agrícola. Além disso, o setor industrial contribui com 18 Mt C ano<sup>-1</sup> devido a substituição de combustíveis fósseis, para transportes, pelo álcool, e também da geração de energia na usina. Assim, a combinação da agricultura e dos setores industriais, a produção de cana-de-açúcar sem queima dá um total de 18,5 Mt C ano<sup>-1</sup> retirado da atmosfera (CERRI et al., 2007).

### **Pecuária e resíduos animais**

As opções de redução das emissões de metano na atividade pecuária estão associadas ao aumento da produtividade animal, com o objetivo de se obterem maiores valores de produção animal por quantidade de metano emitido. Ruminantes manejados extensivamente podem ter suas emissões reduzidas por meio da melhoria da digestão fermentativa no rúmen, administrando-se dietas a base de uréia e de proteínas e fornecendo nutrientes vitais (EMBRAPA, 2006c).

O melhoramento da eficiência dos processos microbianos no rúmen visando uma otimização da digestão de fibras e síntese microbiana apresenta-se

como uma estratégia de reduzir as emissões de metano. Outras possibilidades incluem o desenvolvimento de organismos que oxidam metano ou outros sumidouros de hidrogênio no rúmen, usando engenharia genética (LIMA, 2002).

A mitigação das emissões de metano provenientes de resíduos animais pode ser obtida com processos de recuperação de energia, através de digestores anaeróbicos (SILVA et al., 2001), medida essa aplicável a sistemas de confinamento. Os biodigestores controlam a emissão de metano e outros gases, pois o processo se desenvolve em um meio fechado e com recuperação dos gases. Assim, mecanismos poderiam ser estudados quanto à implantação de projetos de aproveitamento do metano como fonte de energia a propriedades rurais que operam sistemas de confinamento.

### **Solos agrícolas**

Segundo Lima (2000), os solos agrícolas, pelo uso de fertilizantes nitrogenados, fixação biológica de nitrogênio, adição de dejetos animais, incorporação de resíduos culturais, entre outros fatores, são responsáveis por significantes emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Porém, os ecossistemas terrestres, que compreendem a vegetação e o solo, são considerados atualmente como potenciais sumidouros de carbono, especialmente os solos.

Há várias maneiras pelas quais o manejo apropriado da biosfera terrestre, particularmente do solo, possa resultar em significativa redução no aumento dos gases de efeito estufa. Uma destas é a adoção de práticas agrícolas com conservação do solo que possibilitaria não apenas aumentar a produtividade agrícola como também transformar os solos agrícolas em drenos ou sumidouros de CO<sub>2</sub> atmosférico, sequestrando o carbono presente na atmosfera em carbono estocado no solo, compondo a matéria orgânica do solo (MACHADO, 2005).

Os processos e práticas que afetam o balanço do carbono global são: desmatamento, erosão do solo, queima de biomassa, superpastoreio, mecanização do solo (aração, gradagem, etc.), depleção da fertilidade dos solos, entre outros. Em contraste, práticas agrícolas que recompõem o reservatório de carbono orgânico e restauram a capacidade dos solos como um sumidouro de carbono são: reflorestamento, práticas conservacionistas (como a manutenção da biomassa vegetal *in situ* após a colheita, plantio direto, período adequado de pousio e regeneração natural da vegetação); culturas perenes (culturas extrativistas, como seringueira, cacau, castanhas, fruticultura, etc.); uso adequado de fertilizantes químicos e adubos orgânicos, pastagens bem manejadas e agrofloresta (LIMA, 2000).

Carmo et al. (2007), estudando fluxos de CH<sub>4</sub> em floresta tropical de mata Atlântica, observaram, de modo geral, fluxos negativos em todas as áreas amostradas confirmando, assim, o papel de florestas tropicais como sumidouros de metano. O solo sob integração lavoura-pecuária tem potencial para ser um dreno de C atmosférico, desde que no inverno seja adotado um intervalo de pastejo de 28 dias e evite-se a monocultura de soja no verão (NICOLOSO et al., 2008).

Os métodos agrícolas que utilizam movimentação do solo durante o preparo podem promover a perda de carbono do solo por vários mecanismos: através da perturbação dos agregados, que protegem a matéria orgânica do solo, estimulam a atividade microbiana, resultando em aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> e outros gases libertados para a atmosfera. Além disso, podem deixar os solos mais propensos à erosão, resultando em uma maior perda de solo C (BERTOL et al.,

2005). Já práticas como o plantio direto que armazena matéria orgânica no solo e evita a erosão, pode representar um importante fator de sequestro de carbono no setor agrícola (SÁ et al., 2001).

Nos trópicos, especificamente no Brasil, a taxa de acúmulo de C foi estimada nas duas principais regiões, em sistema plantio direto (Sul e Centro-Oeste). Na região Sul, Sá et al. (2001) estimaram um maior sequestro com taxas de  $0,8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na camada 0-20 cm e  $1,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  na profundidade 0-40 centímetros do solo após 22 anos sob sistema plantio direto. Os autores mencionam que o acumulado C foi geralmente maior nas partículas maiores ( $> 20 \mu\text{m}$ ) do que nas menores ( $< 20 \mu\text{m}$ ), indicando que a maior parte desse C adicional é fracamente estável. Bayer et al. (2000) encontraram uma taxa de acumulação de  $1,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C em sistema de plantio direto em comparação a  $0,10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o sistema convencional nos primeiros 30 cm de profundidade de um Argissolo Vermelho na parte sul do Brasil.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vulnerabilidade da agropecuária aos efeitos da mudança global do clima tem sido um assunto ainda pouco estudado no País, embora seja de grande interesse devido à contribuição econômica do setor. A mudança desse cenário e a adoção de estratégias eficazes que promovam a redução das emissões de gases de efeito estufa só serão possíveis com estudos regionais, que quantifiquem a emissão de cada atividade agrícola levando em consideração os sistemas de manejo e as características locais de solo e clima.

A questão das mudanças climáticas precisa, portanto, passar por uma avaliação mais detalhada com o intuito de se determinar o papel da natureza e o da ação humana no processo, mesmo porque as duas esferas podem atuar de forma solidária e intercambiar influências.

### REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; BALBINOT JR, A. A. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 1073-1081. 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de  $\text{CO}_2$ . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 599-607. 2000.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; GONZALEZ, A.P.; AMARAL, A.J.; BRIGNONI, L.F. Soil tillage, water erosion, and calcium, magnesium and organic carbon losses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 578-584. 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília, 2004. 74p. (Comunicação Nacional).

CAI, Z.; XING, G.; YAN, X., XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 196, n. 1, p. 7-14. 1997.

CARDOSO, A. N.; SAMINÉZ, T. C.; VARGAS, M. A. **Fluxo de gases-traço de efeito estufa na interface solo-atmosfera em solos de cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 23 p. (Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17. Novembro, 2001).

CARMO, J. B.; SOSA NETO, E. R.; KELLER, M. M.; GRILO, S. C.; MARTINELI, L. A. Fluxos de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em floresta tropical de mata Atlântica do Estado de São Paulo. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 2007. Caxambu. **Anais**. São Paulo: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007. Disponível em: < <http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/trabalhos.html>>. Acesso em : 18 de julho de 2009.

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.

CORTON, T. M.; BAJITA, J. B.; GROSPÉ, F. S.; PAMPLONA, R. R.; ASSIS JR., C. A.; WASSMANN, R.; LANTIN, R. S.; BUENDIA, L. V. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 58, n. 1-3, p. 37-53. 2000.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332. 2008.

DENMEAD, O. T. Measuring fluxes of greenhouse gases between rice fields and the atmosphere. In: PENG, S., INGRAM, K.T., NEUE, H.U., et al. (eds.) **Climate change and rice**. New Delhi: Thomson, p.15-29. 1995.

DUXBURY, J. M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 38, n. 2, p. 151-163. 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. 105 p. (Relatórios de referência) Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0021/21373.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0021/21373.pdf)>. Acesso em: 22 de julho de 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: emissões de óxido nitroso provenientes de solos agrícolas. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006a. 129 p. (Relatórios de referência) Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8809.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8809.pdf)>. Acesso em: 22 de julho de 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa:** emissões de metano o cultivo de arroz. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006b. 59 p. (Relatórios de referência) Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8807.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8807.pdf)>. Acesso em: 22 de julho de 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa:** emissões de metano da pecuária. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006c. 77 p. (Relatórios de referência) Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8806.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8806.pdf)>. Acesso em: 22 de julho de 2009.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Greenhouse gas emissions from agricultural systems. In: WORKSHOP ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURE, 1989, Washington. **Proceedings.** Washington: United States Environmental Protection Agency, 1990. v.1, p.VII-3-VII-22. Summary report.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F. **Manejo do nitrogênio em arroz irrigado.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 58).

FERNANDES, A. H. B. M. & FERNANDES, F. A. **A Embrapa e as mudanças climáticas.** Agrosoft Brasil. Publicação: 27/02/2008. Disponível em: < <http://www.Agrosoft.org.br/agropag/100054.html>>. Acesso em: 24 de julho de 2009.

GIACOMINI, S. J.; JANTALIA, C. P.; AITA, C.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1653-1661. 2006

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo.** 2006. 151p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GONÇALVES, C. E. A. Estudo **da produção de óxido nitroso em cultivo de feijão (*phaseolus vulgaris*).** 2002. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

IICA. **Situação e perspectivas da agricultura brasileira 2008:** a experiência da cooperação técnica do IICA. DF: Brasília: 2009. 192p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001:** the scientific basis. United Kingdom: Cambridge University, 2001. 881p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Carbon dioxide capture and storage.** METZ, B.; DAVIDSON, O.; CONINCK, H.; LOOS, M.; MEYER, L. (Eds). Cambridge University press, New York, 2005. 431 p.



KAISER, E. A.; KOHRS, K.; KUCKE, M.; SCHNUG, E.; HEINEMEYER, O.; MUNCH, J. C. Nitrous oxide release from arable soil: importance of n-fertilization, crops and temporal variation. **Soil Biology & Biochemistry**, Queensland, v. 30, n. 12, p. 1553-1563. 1998.

LE MER, J. & ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Biology**. Braunschweig, v. 37, n. 1, p. 25-50. 2001.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 3, n. 17, p. 38-43. 2000.

LIMA, M. A. de. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 451-472. 2002.

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

MADARI, B. E.; COSTA, A. R. da; JANTALIA, C. P.; MACHADO, P. L. O. A.; CUNHA, M. B. da; MARTINS, D. R.; SANTOS, J. H. G. dos; ALVES, B. J. R. **Fator de Emissão de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) para a Fertilização com N na Cultura do Feijoeiro Comum Irrigado no Cerrado**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico 144. Dezembro, 2007).

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, n. 1, p. 11-49. 2004.

NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2425-2433. 2008.

OLIVEIRA, P. A.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A. Efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, v. 25, n. 172. p. 16-20. 2003.

OLIVEROS, L. F. C. **Emissões de CO<sub>2</sub> do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PEREIRA, E. M. de; EZEQUIEL, J. M.; BIAGIOLI, B.; FEITOSA, J. Determinação in vitro do potencial de produção de metano e dióxido de carbono de líquido ruminal proveniente de bovinos de diferentes categorias. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**, Chapingo, v. 14, n. 4, p. 120-127. 2006

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JR, J.; BRUNINI, O. **O aquecimento global e a agricultura**. Com Ciência - Mudanças Climáticas. Atualizado em 10/08/2002. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/prod\\_cc/textos-em-revistas/comciencia/download.pdf](http://www.cpa.unicamp.br/prod_cc/textos-em-revistas/comciencia/download.pdf)>. Acesso: 23 de julho de 2009.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; FILHO, S. P. V. B.; PICCOLO, M. C. & FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1486–1499. 2001.

SASS, R. L. & FISHER JR., Methane emissions from rice paddies: a process study summary. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v 49, n. 1-3, p. 119-127. 1997.

SILVA, J.; ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V. de. Evolução de metano em solos e dejetos confinados em condição de inundação e capacidade de campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 48, n. 277, p. 341-352. 2001.

SIQUEIRA, O.J.F.; STEINMETZ, W.S.; SALLES, L.A.B.; FERNANDES, J.M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**, Jaguariúna, 2001. Proceedings. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.33-64.

VEIGA FILHO, L. **De volta ao passado**: agropecuária terá que retomar práticas abandonadas nas últimas décadas para enfrentar mudanças climáticas e evitar novos danos ambientais. *Safra*, n. 88, p.14-20. 2007.