

Estimativa das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes de Atividades Agrícolas no Brasil

MAGDA APARECIDA DE LIMA, RITA CARLA BOEIRA, VERA LÚCIA S. S. CASTRO,
MARCO ANTÔNIO V. LIGO, OSVALDO MACHADO R. CABRAL,
ROSANA FARIA VIEIRA, ALFREDO JOSÉ BARRETO LUIZ
Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, Brasil

Resumo. A agricultura e a pecuária contribuem para as emissões antrópicas de metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x) à atmosfera terrestre. O aumento da concentração desses gases, gerados também por outras atividades humanas, tem sido associado ao aquecimento da superfície terrestre. O Brasil, enquanto signatário da Convenção Quadro de Mudança de Clima, tem realizado inventários de emissões de gases gerados por suas atividades agrícolas, industriais e urbanas. As estimativas das emissões de gases metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x) provenientes de atividades agrícolas no país, incluindo cultura de arroz sob regime de inundação, queima de resíduos agrícolas (cana-de-açúcar e algodão), fermentação entérica, manejo de resíduos da pecuária e solos agrícolas são apresentadas neste capítulo. Os métodos de estimativa desses gases foram os recomendados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC.

Estimates of Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Activities in Brazil

Abstract. Agriculture contributes for anthropogenic emissions of methane (CH_4), carbon monoxide (CO), nitrous oxide (N_2O) and nitrogen oxides (NO_x) to the atmosphere. The increase in concentration of those gases, produced also by other human activities, has been linked to the greenhouse effect. As a signatory of the Framework Convention on Climate Change, Brazil has been carrying out inventories of gas

emissions from the various economic activities in the country. Current estimates of methane, CO, N₂O, e NO_x emissions from agricultural activities, which include flooded rice cultivation, burning of crop residue (sugar cane and herbaceous cotton), enteric fermentation in ruminants, the management systems of animal wastes and agricultural soils are presented in this section. The inventory methodology used in the estimates complies with the guidelines issued by the Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC.

Introdução

O cultivo de arroz irrigado por inundação, a queima de resíduos agrícolas, o processo de fermentação entérica da pecuária ruminante e os dejetos desta, bem como o uso agrícola dos solos constituem importantes fontes de liberação de gases de efeito estufa à atmosfera terrestre.

Os campos de arroz inundados e a pecuária ruminante, assim como a queima de resíduos agrícolas promovem a liberação de metano (CH₄) na atmosfera. Cerca de 55% das emissões antrópicas de metano provêm da agricultura e pecuária juntas (IPCC, 1995, 1996). Os solos agrícolas, pelo uso de fertilizantes nitrogenados, fixação biológica de nitrogênio, adição de dejetos animais, incorporação de resíduos culturais, entre outros fatores, contribuem com significativas emissões de óxido nitroso (N₂O). A queima de resíduos agrícolas nos campos liberam, além de metano, óxido nitroso, óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO) na atmosfera. As Tabelas 1, 2, 3 e 4 mostram as estimativas de emissões globais de CH₄, CO, N₂O e NO_x derivadas de fontes antrópicas, incluindo as de origem agropecuária.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, adotada em 1992 com o objetivo de alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera a um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático, requer dos países-membros, entre outros compromissos, a realização de inventários periódicos de fontes de emissão desses gases bem como de sumidores. Para isso, manuais de inventariamento foram elaborados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), com a metodologia de referência para as estimativas nacionais de emissão de gases.

Atividades Agrícolas Geradoras de Gases de Efeito Estufa

Arroz Irrigado por Inundação

O cultivo de arroz irrigado por inundação representa, em âmbito global, uma das principais fontes antrópicas de metano (CH_4) (Schutz et al. (1991); Minami & Neue (1994)). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudança Climática – IPCC (1996), estima-se de 20 a 100 teragramas (média de 60 Tg¹) por ano a emissão global desse gás nos campos de arroz irrigado, o que corresponde a 16% do total de emissão de todas as fontes. Do total de metano gerado por essa fonte, 90% é atribuído ao continente asiático. Mais de 50% da população humana mundial utiliza o arroz como alimento básico, sendo que entre 1998 e 1999 foram cultivados 151 milhões de hectares de terras, atingindo uma produção global de 570 milhões de toneladas (FNP, 1999). A tendência de crescimento da população sinaliza para o aumento da produção mundial de arroz e conseqüentemente da necessidade de aumento de área cultivada ou da eficiência produtiva.

O metano é produzido no solo pela decomposição anaeróbica de substâncias orgânicas, mediante a ação de bactérias (metanogênicas) que requerem condições altamente reduzidas para seu crescimento, como as encontradas em solos cultivados com arroz inundado. O gás é liberado para a atmosfera principalmente por transporte difusivo, pelo aerênquima (tecido vascular) das plantas de arroz e também por difusão através da lâmina d'água. Bont et al. (1978) conduziram experimentos mostrando que a presença de plantas de arroz facilita o escape de metano para atmosfera por um fator de 7 a 10 vezes maior em relação aos solos inundados sem cultivo de arroz.

¹ Tg = Teragrama (10^{12} grama)

Tabela 1 - Estimativa global das emissões médias de CH₄ por fontes naturais e antrópicas (em Tg de CH₄/ano). Entre parênteses, indica-se o intervalo de variação

Fontes	Estimativa individual	Total
Fontes naturais		
Terras baixas	115 (55-150)	
Térmitas	20 (10-50)	
Oceanos	10 (5-50)	
Outras	15 (10-40)	
Total		160 (110-210)
Fontes antrópicas		
Combustível fóssil total		100 (70-120)
Carbono biosférico		
Fermentação entérica	85 (65-100)	
Campos inundados de arroz	60 (20-100)	
Queima de biomassa	40 (20-80)	
Aterros	40 (20-70)	
Dejetos animais	25 (20-30)	
Lodo de esgoto	25 (15-80)	
Total		275 (300-350)
Total de fontes antrópicas		375 (300-450)
Total das Fontes		535 (410-660)

Fonte: IPCC, 1995

Tabela 2 - Estimativa global das emissões médias de CO por fontes naturais e antrópicas (em Tg(CO)/ano). Entre parênteses, indica-se o intervalo de variação

Fontes	Estimativa individual	Total
Fontes		
Tecnológicas	300-550	
Biológicas	60-160	
Queima de biomassa	300-700	
Oceanos	20-200	
Oxidação do metano	400-1000	
Oxidação do hidrocarbono não-metano (NMHC)	200-600	
Total das Fontes		1.800-2.700

Fonte: IPCC, 1995

Tabela 3 - Estimativa global das emissões médias de N_2O por fontes naturais e antrópicas (em Tg(N_2O)/ano). Entre parênteses, indica-se o intervalo de variação

Fontes	Estimativa individual	Total
Fontes naturais (oceanos, florestas, savanas, pradarias)		9 (6-12)
Fontes antrópicas		
Solos cultivados	3,5 (1,8 - 5,3)	
Queima de biomassa	0,5 (0,2 - 1,0)	
Fontes industriais	1,3 (0,7-1,8)	
Gado e confinamentos	0,4 (0,2-0,5)	
Total fontes antrópicas		5,7 (3,7-7,7)
Total das Fontes		14,7 (10-17)

Fonte: IPCC, 1995

Tabela 4 - Estimativa global das emissões médias de NO_x por fontes naturais e antrópicas (em Tg(N)/ano). Entre parênteses, indica-se o intervalo de variação

Fontes	Estimativa individual	Total
Combustão de combustível fóssil	24	
Emissão do solo (natural e antrópica)	12	
Queima de biomassa	8	
Relâmpago	5	
Oxidação de amônia	3	
Avião	0,4	
Transporte a partir da estratosfera	0,1	
Total das Fontes		52,5

Fonte: IPCC, 1995

No Brasil, o arroz cultivado sob regime de inundação encontra-se em grande parte na Região Sul (1,09 milhão de ha em 1994), notadamente no Estado do Rio Grande do Sul (87% da região). O cultivo de arroz em sistema de várzea corresponde a 8% do total de arroz cultivado sob regime de inundação no país (considerando os 148 mil ha estimados em 1994), e é praticado principalmente nos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Sergipe e Pará.

Queima de Biomassa Vegetal

No processo de queima de biomassa na agricultura, são produzidos o óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_x), durante a fase de combustão com chama, e o monóxido de carbono (CO) e o metano (CH_4), quando há predomínio de fumaça. As taxas de emissão desses gases dependem do tipo de biomassa e da eficiência da queima.

Estima-se que cerca de 40% dos resíduos agrícolas produzidos anualmente nos países em desenvolvimento (425 Tg de biomassa seca) sejam queimados no campo (Jallow, 1995). Segundo o IPCC (1995) os resíduos da cana-de-açúcar representam 11% da produção mundial de resíduos agrícolas, cuja queima produz substancial liberação de CO_2 . Esta não é considerada uma emissão líquida, pois através da fotossíntese, a biomassa queimada é repostada no ciclo seguinte da cultura.

As estimativas globais de emissão dos gases de efeito estufa associados à queima de biomassa, incluindo florestas e savanas, segundo o IPCC (1995), são de 0,8 (0,3 - 1,6) Tg de N_2O /ano; 26,3 Tg de NO_x /ano; 40 (20 - 80) Tg de CH_4 /ano e (300 - 700) Tg de CO/ano. Considerando-se que as emissões antrópicas de N_2O encontram-se entre 5,8 e 12,1 Tg de N_2O /ano, e de CH_4 entre 300 e 450 Tg de CH_4 /ano, as emissões de N_2O decorrente da queima de biomassa, em geral, contribui entre 5,2% e 13,2%, e as emissões de CH_4 , com 6,7% e 17,8% do total emitido.

A Queima de Resíduos Agrícolas no Brasil - Algodão Herbáceo e Cana-de-Açúcar

A queimada é uma prática ainda adotada em grande escala no Brasil, principalmente nos canaviais e em menor escala em nos algodoais. Normalmente a colheita de cana-de-açúcar é feita após a queima dos resíduos (folhas secas, folhas verdes e pontas). A eliminação das folhas aumenta o rendimento do corte manual dos colmos, elimina animais peçonhentos e facilita o preparo do solo para novo plantio. A colheita mecanizada, que dispensa a queima, é uma prática de adoção recente, utilizada em 5% das áreas produtoras do país. Suas vantagens, além de diminuir as emissões de gases, estão no favorecimento de uma maior cobertura do solo e na melhor qualidade tecnológica da cana crua.

Grande parte da produção de algodão no país (90%) provém do algodoeiro de ciclo anual, herbáceo, cuja produção principal é constituída por sementes e fibras. Raízes, ramos, folhas e cápsulas da planta constituem os resíduos, que são queimados após a colheita, como parte de um sistema de manejo que visa eliminar focos de pragas e doenças. Acredita-se que cerca de 25% a 50% dos resíduos de algodão sejam expostos à queima no país, com exceção da região Nordeste, onde a utilização dos restos culturais para alimentação animal é prática frequente, e portanto as produções dessa região não são consideradas como fontes de emissões de gases.

Pecuária

A pecuária, especialmente a ruminante, constitui uma importante fonte de emissão de metano em uma escala global. Além de originar-se nos processos digestivos, que ocorrem no estômago (rúmen) do animal, o metano é emitido também a partir de dejetos animais, manipulados, principalmente, na forma líquida. As emissões globais de metano a partir dos processos entéricos são calculadas em 85 Tg/ano (valor médio aproximado), correspondendo a cerca de 22% das emissões totais de metano geradas por fontes antrópicas, e as provenientes de dejetos animais são estimadas em cerca de 25 Tg/ano (IPCC, 1995), correspondendo a 7% das emissões totais.

Processo de Fermentação Entérica

A produção de metano é parte do processo digestivo dos herbívoros ruminantes e ocorre no rúmen. A fermentação que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos do material vegetal ingerido é um processo anaeróbico efetuado pela população microbiana ruminal e converte os carboidratos celulósicos em ácidos graxos de cadeia curta, principalmente ácidos acético, propiônico e butírico. Nesse processo fermentativo, é dissipado calor pela superfície corporal e são produzidos dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). A fase gasosa do rúmen dorsal contém geralmente de 50% a 70% de CO_2 . O resto é constituído de metano e pequenas concentrações de outros gases como hidrogênio, nitrogênio e oxigênio. As bactérias metanogênicas do rúmen, em especial *Archaeobacteria*, utilizam o hidrogênio e o dióxido de carbono na produção de metano. Entretanto, a metanogênese tem um grande efeito na formação de diversos produtos finais, na quantidade de ATP gerada e finalmente na eficiência

da microbiota ruminal ou no processo de síntese de proteína microbiana (Dukes & Swenson, 1977; Van Nevel & Demeyer, 1996). No caso de herbívoros falso-ruminantes (cavalos, mulas, asnos) o metano também é produzido, mas em quantidades bem menores devido à ausência do rúmen. Nesses animais a ação bacteriana ocorre até certo ponto no intestino grosso e é de grande significado no caso do cavalo e do coelho (Maynard & Loosli, 1974).

A intensidade da emissão de metano depende do tipo de animal, da quantidade e grau de digestibilidade da massa digerida e do esforço ao qual o animal se submete. A emissão de metano varia entre 4% e 9% da energia bruta do alimento ingerido, em média de 6%. Desde que a produção de metano varia de acordo com a quantidade e qualidade do alimento digerido (U.S. EPA, 1990), as várias modalidades e condições de sistemas de criação de animais domésticos implicam fatores diferentes de emissão de metano.

Os ruminantes nos trópicos e subtropicais experimentam flutuações sazonais na qualidade das pastagens e no suprimento de alimentos. Isso resulta em um padrão sazonal de ganho de peso na estação úmida e perda de peso na estação seca, que ocorre a partir de 3,5 anos de idade, dependendo das condições climáticas e do tipo de solo. Alguns autores encontraram valores médios de taxas de digestibilidade de matéria seca de gramíneas e leguminosas tropicais em 54% e 57%, respectivamente (Poppi & McLennan, 1995).

Manejo de Dejetos Animais

Os dejetos animais, quando são estocados na forma líquida, em lagoas e tanques por exemplo, favorecem a condição de anaerobiose. Nesta condição, as bactérias metanogênicas podem produzir quantidades consideráveis de metano. O potencial dos dejetos em gerar metano pode ser expresso em metano/kg de sólidos voláteis (SV) de material residual. Os valores variam de 0,17 a 0,49 m³ de CH₄/kg SV - média de 0,25 m³ de CH₄/kg SV.

Números da Pecuária no Brasil

Em 1995, 67,7% dos efetivos da pecuária brasileira eram representados por bovinos (Figura 1), 87% dos quais correspondentes a gado de corte e 13% a gado de leite. De 1980 a 1996, a população bovina dobrou em número devido em grande parte à expansão da atividade agropecuária do Sul em direção ao Centro Oeste e Norte do país (Peetz et al., 1997, citados em Ferreira et al., 1999). Em 1996 a população bovina no país era estimada em 158,3 milhões de

cabeças. A maior parte do gado, predominantemente zebuíno, é criada em regime de pastoreio.

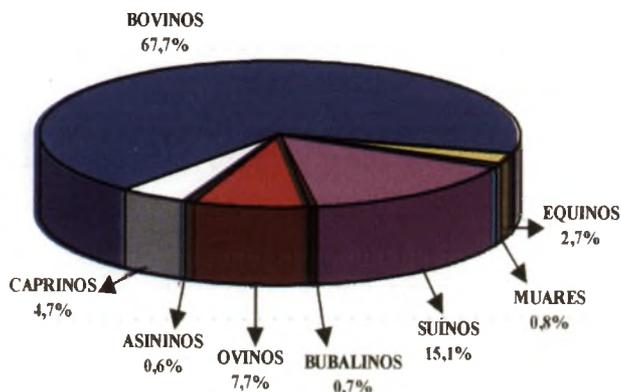


Figura 1 - Distribuição das categorias animais por número de efetivos cabe na pecuária brasileira em 1995 (segundo IBGE, 1995b)

A proporção de gado confinado no país em 1996 era de cerca de 1%, segundo estimativas do ANUALPEC'98 (FNP, 1997) indicando uma fração pequena de sistemas de tratamento de dejetos.

Solos agrícolas

O aumento das adições de fertilizantes nitrogenados sintéticos aos solos agrícolas tem sido indicado como principal responsável pelas crescentes emissões de N_2O na atmosfera. Outras fontes antrópicas desse gás incluem o nitrogênio proveniente de resíduos animais, da fixação biológica de nitrogênio aumentada, do cultivo de solos orgânicos e minerais através da mineralização da matéria orgânica adicionada (IPCC, 1996).

Estima-se que as emissões antrópicas globais de N_2O sejam de 3,7 a 7,7 Tg N/ano, com uma média provável estimada em 5,7 Tg N/ano (IPCC, 1995). Utilizando dados da FAO, de 1989, e a metodologia do IPCC, as emissões diretas de N_2O a partir de solos agrícolas são estimadas em 2,5 Tg N, as emissões diretas de animais de pastoreio em 1,6 Tg de N, e as emissões indiretas resultantes de nitrogênio de origem agrícola na atmosfera e sistemas aquáticos

em 1,9 Tg N-N₂O (IPCC, 1996).

As emissões de N₂O dos solos ocorrem principalmente como consequência da desnitrificação a partir de nitrogênio mineral (N). A desnitrificação¹ consiste na redução microbiana do nitrato (NO₃⁻) à formas intermediárias de N e então às formas gasosas (NO, N₂O e N₂) que são comumente perdidas para a atmosfera. Quando da redução do nitrato, a matéria orgânica é oxidada para a obtenção de energia pelos microorganismos. Enzimas específicas participam do processo e suas atividades podem ser bastante variáveis em função dos tipos de solos. A atividade potencial da redutase do óxido nitroso no solo é um dos fatores que controlam a emissão deste gás.

A produção de N₂O está também sujeita às influências decorrentes do tipo de manejo a que os solos são submetidos. As diferenças de emissão de N₂O em diferentes tipos de solos têm sido relacionadas principalmente ao comportamento hidráulico dos solos e sua capacidade de redução de N₂O (Henault et al., 1998). Este é um fato esperado, uma vez que o conteúdo de água no solo regula a sua disponibilidade de oxigênio. Assim, a capacidade do solo em emitir N₂O parece ser altamente dependente da precipitação pluviométrica. Henault et al. (1998) inferiram também que as plantas e o pH poderiam ter um efeito específico sobre a capacidade das enzimas em reduzir N₂O.

Medições *in situ* de emissões de N₂O, sob diferentes tipos de solo e sistemas de cultivo são ainda necessárias para se obter estimativas globais mais precisas. Grande parte dos trabalhos, segundo Kaiser et al. (1998) não são contínuos e enfocam a estação de crescimento, negligenciando períodos de inverno, quando ainda podem ocorrer emissões de N₂O. Além disso, diferentes culturas agrícolas influenciam distintamente na emissão de N₂O. Em seus estudos, as menores perdas de N₂O foram observadas para culturas de trigo de inverno e as maiores perdas em culturas de beterraba, embora nesta última cultura tenha sido utilizado menor quantidade de fertilizante nitrogenado (Kaiser et al., 1998).

Vargas et al. (1997) estudaram o efeito de sistemas de cultivo em solos da região do cerrado (Planaltina, DF) na emissão de óxido nitroso, comparando-os com os de áreas de cerrado nativo. Em áreas de pastagens (simples e consorciada) e áreas cultivadas houve, na estação seca, um aumento de 35,7% e de 51,1%, respectivamente, na emissão desse gás, quando comparado às

¹ Desnitrificação: NO₃⁻ => NO₂ => 2NO => N₂O => N₂.

áreas de cerrado nativo. As emissões foram maiores durante a estação úmida, sendo que nas pastagens simples o aumento foi de 90,2%; em pastagem consorciada 94,6% e em área cultivada (milho e soja) 123,9%.

No Brasil, entre 1995-96, segundo dados do IBGE (1998), cerca de 14% das terras utilizadas eram ocupadas por lavouras (50,1 milhões de hectares) e 50% por pastagens (177,7 milhões de hectares). Do total da área cultivada nesse período, cerca de 15% correspondiam às culturas permanentes (7,5 milhões de hectares em 1994) e 85% às culturas temporárias (42,6 milhões de hectares). A região Sul apresentava a maior extensão de áreas cultivadas (27%), apresentando também as maiores taxas de consumo de fertilizantes nitrogenados do país. As plantações de soja empregam em grande parte inoculantes microbiológicos para a fixação de nitrogênio, levando a acréscimos de nitrogênio no solo, e conseqüentemente, favorecendo o processo de desnitrificação de nitrogênio mineral. Ambas essas fontes, além das adições de dejetos animais e resíduos orgânicos aos solos como fertilizantes, contribuem para a liberação de óxido nitroso na atmosfera.

Estimativa das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes de Atividades Agrícolas no Brasil

As estimativas das emissões dos gases CH_4 , CO , N_2O e NO_x geradas pelo cultivo de arroz irrigado por inundação, queima de resíduos agrícolas (cana-de-açúcar e algodão), pecuária (fermentação entérica e manejo de dejetos) e solos agrícolas, para o ano de 1994, são apresentadas na Tabela 5. Em termos relativos, a pecuária e o uso agrícola dos solos constituem as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário. Aos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Rio Grande do Sul corresponderam as maiores emissões de metano estimadas em 1994 (Tabela 6), devido principalmente à atividade pecuária. O Estado de São Paulo foi associado às maiores emissões relativas de CO e NO_x , devido à queima da cana-de-açúcar, e as maiores contribuições em emissão de N_2O estão associadas aos Estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais, devido ao intenso uso agrícola dos solos. As Figuras 2, 3, 4 e 5 mostram as distribuições das emissões totais absolutas dos gases CO , CH_4 , NO_x e N_2O provenientes de atividades agrícolas nos estados brasileiros, estimadas para o ano de 1994.

Tabela 5 - Estimativas de emissões totais de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil em 1994 (Embrapa, 1998, 1999a, 1999b, 1999c)

Fonte	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x
Valores em teragramas (Tg)				
Arroz irrigado	0,28	-	-	-
Queima de resíduos agrícolas				
Cana-de-açúcar	0,13	2,73	0,0064	0,23
Algodão	0,003	0,06	0,0002	0,01
Subtotal	0,133	2,79	0,0066	0,24
Pecuária				
Fermentação entérica	9,38			
Manejo de dejetos animais	0,39		0,0065	
Subtotal	9,77	-		-
Solos agrícolas	-	-	0,32	-
Total	10,183	2,79	0,34	0,24

Tg = 10¹² gramas**Tabela 6** - Estimativas de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil, por região, em 1994

Região	Emissões de gases em 1994			
	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x
Teragramas (Tg)				
Norte	1,106	0,010	0,052	0,001
Nordeste	1,666	0,536	0,094	0,045
Sudeste	2,422	1,880	0,134	0,160
Sul	1,904	0,189	0,116	0,017
Centro-Oeste	3,090	0,172	0,130	0,015
Brasil	10,188	2,787	0,526	0,238

Tg = 10¹² gramas

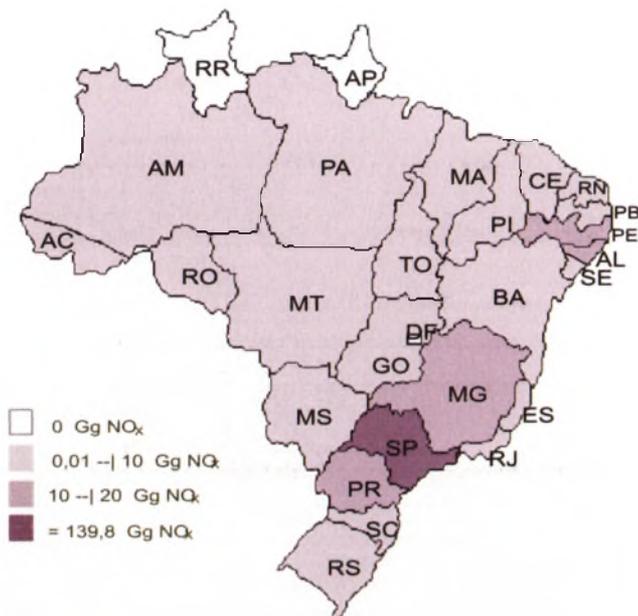


Figura 4 - Distribuição das emissões absolutas de NO_x provenientes de atividades agrícolas no Brasil (dados relativos a 1994)

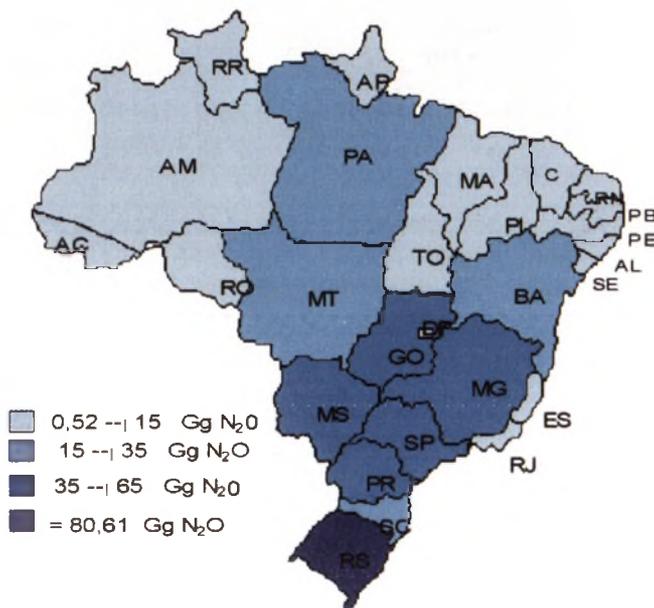


Figura 5 - Distribuição das emissões absolutas de N_2O provenientes de atividades agrícolas no Brasil (dados relativos a 1994)

Arroz Irrigado por Inundação

As emissões totais de metano provenientes do cultivo de arroz inundado no Brasil foram estimadas em 0,28 Tg em 1994. Para o período de 1986-1996, foram estimadas emissões de $0,27 \pm 0,017$ Tg de metano, em média. A Figura 6 mostra as contribuições em emissões de metano proveniente do cultivo de arroz irrigado no Brasil, sob diferentes regimes de inundação. Cerca de 77% do total dessas emissões são atribuídas ao cultivo de arroz irrigado na Região Sul do país, especialmente no Rio Grande do Sul.

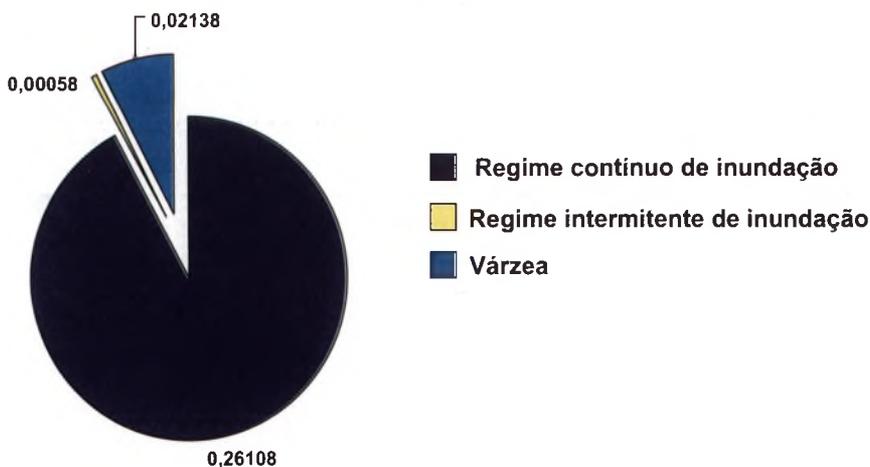


Figura 6 - Emissão de metano provenientes de cultivo de arroz inundado, por regime de água, no Brasil em 1994 (Embrapa, 1998)

Queima de Resíduos Agrícolas

Na Tabela 7 mostram-se os dados estimados de emissões de gases gerados na queima de resíduos agrícolas de canaviais e algodoads brasileiros para o ano de 1994. A queima de cana-de-açúcar na pré-colheita contribuiu com 98% do total das emissões de CH_4 e CO e com 97% das emissões de N_2O e NO_x causadas pela queima de resíduos de colheita no Brasil. No caso do algodão, a área total colhida e a produção em caroço diminuíram significativamente entre 1990 e 1996 (cerca de 40%), promovendo, conseqüentemente, decréscimos nas emissões

(cerca de 44%) de gases.

Recentes instrumentos legais regulamentando o uso da queima da cana-de-açúcar na pré-colheita, bem como as mudanças de manejo verificadas na cultura do algodão, indicam um cenário de eliminação progressiva da prática de queima e, em decorrência disso, das emissões de gases por essa fonte no país.

Tabela 7 - Média das produções brasileiras de algodão e de cana-de-açúcar, no ano de 1994, e das emissões de gases de efeito estufa decorrente da queima dos resíduos

Gases	Emissões (em Tg) *				
	Queima de resíduos de algodão Brasil	Queima de cana-de-açúcar Brasil	Queima de resíduos (cana+algodão) Brasil	Queima de biomassa global **	Estimativa de emissões antrópicas globais **
CH ₄	0,003	0,130	0,133	40	375
CO	0,057	2,730	2,787	500	2.250
N ₂ O	< 0,001	0,006	0,006	0,8	8,9
NO _x	0,007	0,232	0,239	26	52

* Tg = 10¹²g

** IPCC (1995)

Fonte: Embrapa, 1999a

Pecuária

No ano de 1994 foram estimadas emissões de metano proveniente da pecuária em 9,77 Tg/ano (Embrapa, 1999b), das quais 9,38 Tg (96%) foram atribuídas à fermentação entérica e 0,39 Tg (4%) ao manejo de dejetos animais. Do total de emissões estimadas para a pecuária, a categoria de gado de corte contribuiu com 81%. Em termos regionais, as maiores contribuições de metano foram associadas ao Centro-Oeste e ao Sudeste, com 3,09 Tg (30%) e 2,42 Tg (24%), respectivamente.

Solos Agrícolas

Estimou-se no Brasil, para o ano de 1994, emissões de N_2O provenientes de solos agrícolas na ordem de 0,32 Tg, das quais 0,08 Tg corresponderam às emissões de fontes diretas de solos agrícolas (24%), 0,14 Tg às fontes diretas a partir de animais (44%) e 0,10 Tg às fontes indiretas (32%). A adição de resíduos agrícolas aos solos vem a ser o principal fator responsável pelas emissões diretas de N_2O , contribuindo em 1994 com 0,027 Tg de N. Dejetos de gado de leite e de corte depositados nos solos como esterco contribuíram juntos com 0,12 Tg (85%) das emissões de N_2O a partir da produção animal. Entre as fontes indiretas, o nitrogênio lixiviado ou escoado foi o principal fator de emissão de N_2O , contribuindo com 0,076 Tg (74%) do total de 0,095 Tg de N. A média das emissões totais de N_2O provenientes de solos agrícolas no período de 1993 a 1995 foi estimada em $0,32 \pm 0,009$ Tg (Embrapa, 1999c).

Considerações Finais

O inventário nacional de emissões de gases provenientes do setor agrícola, realizado pela Embrapa, contou com a colaboração de especialistas de cerca de 70 instituições nacionais e estaduais ligadas aos diversos segmentos do setor. O refinamento desse inventário dependerá de informações de base mais precisas, e de pesquisas voltadas à avaliação das emissões de gases atmosféricos em sistemas de produção vegetal e animal. Essas informações serão fundamentais para subsidiar estudos visando a redução das emissões gasosas, de forma a considerar não só a questão da otimização da produção, como também a sustentabilidade do ponto de vista social, econômica e ambiental do sistema agrícola brasileiro, considerando a diversidade ecossistêmica que o país apresenta.

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos a todos os profissionais que colaboraram para a realização do inventário nacional das emissões de gases provenientes do setor agrícola, com o fornecimento de dados

e informações para cada região do país, e em particular aos colegas das unidades descentralizadas da Embrapa que se dispuseram a dividir o seu conhecimento conosco, para melhor caracterizar o perfil da agropecuária nacional. Cerca de sessenta instituições colaboraram para a realização desse inventário, de modo que a elas reiteramos nossos agradecimentos. Os nomes dessas instituições estão disponibilizados nos relatórios da Embrapa, encaminhados à Coordenadoria de Pesquisa em Mudanças Globais (CPMG), do Ministério da Ciência e Tecnologia. O inventário das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas, conduzido pela Embrapa, foi financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, e pelo U.S. Country Studies, sob a administração do Projeto BRA/95/G-31, coordenado pela CPMG.

Referências Bibliográficas

BONT, J.A.M. de; LEE, K.K.; BOULDIN, D.F. Bacterial oxidation of methane in a rice paddy. *Ecol. Bull.*, Stockholm, v. 26, p. 91-96, 1978.

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

DUKES, H.H.; SWENSON, M.J. *Fisiologia de los animales domesticos*. Funciones vegetativas. Madrid: Aguilar. 1977. p. 1054.

EMBRAPA. *Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil*: emissões de metano provenientes de arroz irrigado por inundação (relatório revisado). Jaguariúna, 1998.

EMBRAPA. *Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil*: emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas (relatório revisado). Jaguariúna, 1999a.

EMBRAPA. *Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil*: emissões de metano provenientes da pecuária (relatório revisado). Jaguariúna, 1999b.

EMBRAPA. *Inventário de emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil: emissões de óxido nitroso provenientes de solos agrícolas (relatório revisado)*. Jaguariúna, 1999c.

FERREIRA, C.R.R.P.T.; VEGRO, C.L.R.; BORTOLETO, E.E.; FRANCISCO, V.L.F. dos S. Caracterização da pecuária bovina no Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, v. 29, n. 2, p. 1-24. 1999.

FNP. *Anualpec '97: Anuário da Pecuária Brasileira*. São Paulo: FNP. 1997. 329 p.

FNP. *Agriannual 2000: Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: FNP, 1999. 546 p.

HENAULT, C.; DEVIS, X.; PAGE, S.; JUSTES, E.; REAU, R.; GERMON, J.C. *Nitrous oxide emissions under different soil and land management conditions*. *Biol. Fertil. Soils*, v. 26, p. 199-207, 1998.

HUANG, Y.; SASS, R.L.; FISHER Jr., F.M. A semi-empirical model of methane emission from flooded rice paddy soils. *Global change biology*, v. 4, p. 247-268, 1998.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1987/88*. Rio de Janeiro: IBGE, 1988aa. v. 48.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1989*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989ab. v. 49.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1990*. Rio de Janeiro: IBGE, 1990ac. v. 50.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1992*. Rio de Janeiro: IBGE, 1991ad. v. 51.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1992*. Rio de Janeiro: IBGE, 1992ae. v. 52.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1993*. Rio de Janeiro: IBGE, 1993af. v. 53.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1994*. Rio de Janeiro: IBGE, 1994ag. v. 54.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1995*. Rio de Janeiro: IBGE, 1995ah. v. 55.

IBGE - *Anuário estatístico do Brasil: 1996*. Rio de Janeiro: IBGE, 1996ai. v. 56.

IBGE - *Produção da pecuária municipal (PPM) - 1994*. Rio de Janeiro: IBGE, 1994ba.

IBGE - *Produção da pecuária municipal (PPM) - 1994*. Rio de Janeiro: IBGE, 1994bb.

IBGE. *Censo agropecuário 1995-1996: Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1998c.

IPCC. *Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 878 p.

IPCC. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*. 1996.

JALLOW, B.P. Emissions of the greenhouse gases from agriculture, land-use change and forestry in the Gambia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 38, p. 301-312, 1995.

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

JOHNSON, D.E.; WARD, G.M. Estimates of animal methane emissions. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 42, p. 133-141, 1996.

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*, v. 30, n. 12, p. 1553-1563, 1998.

MAYNARD, L.; LOOSLI, J. *Nutrição animal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1974. p. 559.

MINAMI, K., NEUE, H.U. Rice paddies as a methane source. In: WHITE, D. H.; HOWDEN, S. M. (ed.), *Climate change - Significance for agriculture and forestry: systems approaches arising from an IPCC Meeting*, 1994. v. 27, p. 13-26.

POPPI, D.P.; McLENNAN, S.R. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 1, p. 278-290, 1995.

SCHUTZ, H.; SCHRODER, P., RENNENBERG, R. Role of plants in regulating the methane flux to the atmosphere. In: SHARKEY, T.D.; HOLLAND, E.A. ; MOONEY, H.A. (ed.), *Trace gas emissions by plants*. New York: Academic Press, 1991. p. 29-63.

SOLLOD, A. E.; SANTOS, G.B. *Implementation strategy for reducing methane emissions from cattle in México: a prefeasibility survey for the atmospheric pollution prevention division of the United States Environmental Protection Agency*. Washington, DC: US EPA, 1998.

VENEZUELA. *Preliminary national greenhouse gas inventory*. Venezuela, 1995.

UNEP, OECD, IEA, IPCC. *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Bracknell: IPCC, 1995. v. 3.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Greenhouse gas emissions from agricultural systems*. Washington: US. EPA, 1989. v. 1

VAN NEVEL, C.J.; DEMEYER, D.I. Control of rumen methanogenesis. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 42, n. 1-2, p. 73-97, 1996.