



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Dezembro 2002

Documentos 109

Efeito Estufa: Potencialidades e Contribuições da Agricultura

Clenio Nailto Pillon
João Mielniczuk

Pelotas, RS
2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392 Km 78
Caixa Postal 403 - Pelotas, RS
Fone: (53) 275 8199
Fax: (53) 275 8219 - 275 8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Mário Franklin da Cunha Gastal
Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia
Membros: Ariano Martins Magalhães Junior, Flávio Luiz Carpena Carvalho,
Darcy Bitencourt, Cláudio José da Silva Freire, Vera Allgayer Osório
Suplentes: Carlos Alberto Barbosa Medeiros e Eva Choer

Supervisor editorial: Maria Devanir Freitas Rodrigues
Revisoras de texto: Maria Devanir Freitas Rodrigues/Ana Luiza Barragana Viegas
Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos
Editoração eletrônica: Sérgio Ilmar Vergara dos Santos

1ª edição

1ª impressão (2002):100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº9.610).

Pillon, Clenio Nailto.

Efeito estufa: potencialidades e contribuições da agricultura. / Clenio Nailto Pillon, João Mielniczuk, Ladislau Martin Neto. - Pelotas:Embrapa Clima Temperado, 2002.

17p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 109).

ISSN 1516-8840

1- Efeito estufa2. Climatologia

I. Mielniczuk, João II. Martin Neto, L. III. Título. IV Série.

CDD 6302515

© Embrapa 2002

Autores

Clenio Nailto Pillon

Eng. Agr. Dr., Embrapa Clima Temperado,
Caixa Postal 403, 96001-970, Pelotas, RS
Br 392, km 78,
e-mail: pillon@cpact.embrapa.br

João Mielniczuk

Eng. Agr. PhD., Prof. da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, 91540-000, Porto Alegre, RS
e-mail: mieln@vortex.ufrgs.br

Ladislau Martin Neto

Eng. Agr. Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária
Caixa Postal 741, 13560-970, São Carlos, SP
XV de novembro, 1452
e-mail: martin@cnpdia.embrapa.br

Apresentação

As mudanças climáticas globais são resultado das inúmeras alterações nos fluxos de certos elementos, especialmente do carbono e do nitrogênio, provocadas pela ação antrópica em diferentes locais do Planeta. O aumento da concentração de alguns gases na atmosfera, como o CO₂, CH₄ e N₂O, a partir da segunda metade do século passado, está diretamente relacionado à abertura de novas fronteiras agrícolas e à intensificação do uso de combustíveis fósseis em veículos, indústrias e máquinas agrícolas. Dentre os três gases mais importantes do chamado efeito estufa, o aumento da concentração de dióxido de carbono é responsável por metade da retenção da radiação infravermelho emitida pela superfície da Terra, contribuindo para o aquecimento global. Entretanto, embora o grande vilão seja a queima de combustíveis, as atividades agropecuárias contribuem com 1/3 das emissões anuais de CO₂ para atmosfera, através da queima de florestas, pastagens e, especialmente, pela mineralização da matéria orgânica do solo.

O "seqüestro de carbono" na matéria orgânica do solo, como ocorre no sistema plantio direto, ou na produção de madeira com outros usos que não a queima, tem potencial para se tornar uma *commoditie* agrícola. Numa região tropical, com elevada luminosidade durante todo ano, o Brasil apresenta grande potencial para retirar CO₂ da atmosfera e para armazenar pelo maior tempo possível o carbono orgânico no solo.

O presente trabalho fornece subsídios teóricos e exemplos de como a identificação, avaliação e o monitoramento de sistemas conservacionistas de manejo do solo podem auxiliar na redução da contribuição da agricultura para o efeito estufa e, ao mesmo tempo, para a melhoria da qualidade do solo e da água.

Arione da Silva Pereira
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Efeito Estufa: Potencialidades e Contribuições da Agricultura.....	09
Introdução.....	09
Gases do efeito estufa.....	10
Potencial do solo para seqüestro de carbono atmosférico.....	11
Fontes das emissões de metano para atmosfera.....	14
Referências Bibliográficas.....	17

Efeito Estufa: Potencialidades e Contribuições da Agricultura

*Clenio Nailto Pillon
João Mielniczuk
Ladislau Martin Neto*

Introdução

A intensificação do uso dos recursos naturais pelo homem, especialmente os não-renováveis, tem provocado a degradação da qualidade ambiental, comprometendo a sustentabilidade do nosso Planeta. Estudos recentes têm indicado que nosso Planeta está aquecendo. Seria esse um fenômeno natural da sua evolução? Ou consequência da ação antrópica sobre os recursos naturais da Terra? As respostas definitivas para estas questões carecem de pesquisas. Entretanto, a concentração de alguns gases que compõem o chamado "efeito estufa" vem aumentando progressivamente na atmosfera. Os níveis de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera passaram de 270 para 345 mol/mol desde a era pré-industrial (1800) até a década de 1980, e aumentaram 9% entre 1960 e 1990. Mas poderemos nos perguntar. Por que a concentração destes gases estaria aumentando? O que o homem e suas atividades primárias tem a ver com isso? Qual o papel da agropecuária neste contexto?

Gases do efeito estufa

O efeito estufa está relacionado ao aumento da concentração de gases na atmosfera, como CO₂, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), os quais têm a capacidade de reter a radiação infra-vermelha (energia calorífica) emitida pela superfície terrestre. O resultado é o aumento da temperatura da baixa atmosfera, de forma similar ao que ocorre no interior de estufas para produção de hortaliças. Estimativas indicam que a temperatura da Terra poderá elevar-se de 0,5 até 4,5°C, o que poderia provocar um rápido incremento no degelo das calotas polares e, conseqüentemente, o aumento do nível dos oceanos em até 1,5 m, além de alterações nos regimes pluviométricos e de ventos em diversas regiões.

Dentre as atividades antrópicas, a queima de combustíveis fósseis é o principal contribuinte para o aumento dos níveis de CO₂ atmosférico. Uma prova disso é o importante aumento deste gás na atmosfera entre os anos 1960 e 1990, fato coincidente com o incremento na produção automobilística e de máquinas agrícolas no mundo. Entretanto, o uso intensivo do solo, através das operações de preparo com arados e grades, cria condições favoráveis ao aumento da atividade microbiana no solo, os quais oxidam a matéria orgânica do solo até gás carbônico e água. O CO₂ produzido pela respiração microbiana migra, por diferença de concentração, para a atmosfera, contribuindo para o aumento da concentração de gases do efeito estufa. Estima-se que a mineralização da matéria orgânica do solo, um componente importante da fertilidade dos nossos solos, contribua anualmente com 1/3 da quantidade total de CO₂ emitida para a

Tabela 1. Fluxos de carbono entre os diversos reservatórios do planeta.

Fluxo	Reservatório	Taxa (Pg C ano ⁻¹) *
Efluxo para a atmosfera	Queima de combustíveis fósseis	5,3
	Cultivo do solo	0,6-2,6
	Respiração das plantas	40-60
	Decomposição de resíduos orgânicos	50-60
	Sub-total	95,9-127,9
Influxo da atmosfera	Fotossíntese	100-120
	Absorção pelos oceanos	1,6-2,4
	Sub-total	101,6-122,4
Balança (efluxo – influxo)		1,8 ± 1,4

* Pg = 10¹⁵ g

Fonte: Lal et al. (1995).

Se o manejo inadequado do solo, com excessivas operações de preparo para a implantação das culturas, contribui para o aumento do efeito estufa, a utilização de sistemas conservacionistas de manejo baseados no mínimo revolvimento do solo (adoção do sistema plantio direto) e máxima adição de resíduos vegetais ao solo pelos sistemas de cultura, podem constituir drenos importantes de CO₂ da atmosfera para o solo. Neste caso, o solo atuará como um reservatório de CO₂ atmosférico. Por exemplo, quando o balanço entre a taxa de adição de resíduos vegetais ao solo e a taxa de perda da matéria orgânica do solo devido a sua mineralização (determinada principalmente pelo sistema de preparo do solo) for positivo, ocorrerá acúmulo de matéria orgânica no solo ao longo do tempo. Neste caso, a ação antrópica, através do manejo do solo, faz com que a agricultura contribua para a redução do efeito estufa, e o solo atua como um dreno de CO₂.

As plantas desempenham um papel importante no ciclo do carbono. Na presença de luz, captam o CO₂ atmosférico, absorvem água e nutrientes do solo e transformam o CO₂ em compostos carbonados, os quais constituirão os tecidos vegetais, num processo denominado fotossíntese; estes resíduos contêm, em média, 40% de carbono (C) na matéria seca, e deste total, somente 20% do C permanecerá no solo após a decomposição dos resíduos vegetais, constituindo a matéria orgânica do solo. Portanto, de cada 100 kg de C adicionados ao solo pelos tecidos vegetais, somente 20 kg permanecerão no solo, constituindo a matéria orgânica humificada, os 80 kg restantes, serão convertidos até CO₂, que retornará à atmosfera na forma gasosa.

Potencial do solo para seqüestro de carbono atmosférico

A Tabela 2 exemplifica o potencial de diferentes sistemas de cultura sob plantio direto, utilizados no Sul do Brasil, para o acúmulo de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, para o seqüestro de CO₂ atmosférico pelo solo. A utilização do sistema pousio/milho (P/M), com pousio no inverno e milho no verão em plantio direto, tradicional entre os suinocultores no Sul do Brasil, não promove acúmulo de matéria orgânica no solo ao longo do tempo, pois a quantidade de C presente nos resíduos vegetais adicionada ao solo anualmente é equivalente ao C presente no solo que é oxidado até CO₂ e água, no mesmo período de tempo, pelos microorganismos do solo. Conseqüentemente, não contribui para a redução do efeito estufa. Entretanto, a utilização de sistemas de cultura que mantêm o solo protegido da ação da chuva no inverno, e com cultivo de milho no verão [sistemas aveia/milho-A/M, siratro (Sir) e lablab/milho

(Lab/M)], proporcionam acúmulos importantes de carbono no solo, e este acúmulo é diretamente relacionado à adição de resíduos vegetais pelas culturas ao solo. Os acúmulos de 4,08, 9,89 e 12,50 Mg ha⁻¹ de carbono orgânico total (COT) no solo em 16 anos para os sistemas A/M, Sir e Lab/M, respectivamente, representam um seqüestro líquido de 15, 36 e 46 Mg ha⁻¹ de CO₂ atmosférico. Para relembrar, para cada 1 kg de C armazenado no solo na forma de matéria orgânica, são retirados 3,67 kg de CO₂ da atmosfera.

Tabela 2. Conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo, adição de carbono (C) pelos sistemas de cultura (A) e acúmulo absoluto e relativo de C nos sistemas de cultura em relação ao sistema P/M, após 16 anos em diferentes camadas de um Argissolo Vermelho sob plantio direto. (Pillon, 2000).

Prof.	COT				C acumulado em 16 anos ^a		
	P/M	A/M	Sir	Lab/M	A/M	Sir	Lab/M
.....cm.....	1999						
	Mg ha ⁻¹						
0-2,5	6,68	6,63	9,91	9,12	-0,05	3,23	2,44
2,5-7,5	8,92	10,50	12,00	11,83	1,56	3,05	2,91
7,5-17,5	15,80	17,80	17,60	20,05	2,02	1,80	4,23
17,5-30	20,05	20,60	21,90	22,96	0,55	1,81	2,91
0-30	51,45	55,50	61,30	63,94	4,08	9,89	12,50
A ^b	28,30	69,90	90,90	98,20	-	-	-

^aObtido pela diferença entre os conteúdos de COT de cada sistema em 1999 e o conteúdo de COT do sistema P/M (referência) em 1983, nas respectivas camadas de solo; A^bAdição de C pelas culturas de inverno e verão em 16 anos; P/M: Pousio/Milho; A/M: Aveia/Milho; Sir: Siratro; Lab/M: Lablab/Milho.

A melhoria da qualidade do solo promovida pela utilização de dejetos animais como biofertilizante (os dejetos contêm matéria orgânica e nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, essenciais à produção de biomassa vegetal) ou de fertilizantes químicos como a uréia (fonte de N), contribuem para o aumento da produção de resíduos vegetais pelas plantas e, conseqüentemente, para o seqüestro de CO₂ atmosférico. Por exemplo, na Tabela 3 pode-se observar o efeito, à longo prazo, da utilização de adubação nitrogenada mineral e de plantas fixadoras de nitrogênio atmosférico (leguminosas) na cultura do milho, sobre o acúmulo de C no solo.

Tabela 3. Adição de carbono (C) em 13 anos, conteúdo de carbono orgânico total (COT) inicial e após 13 anos da implantação do sistema A + V/M + C (aveia + ervilhaca/milho + caupi) sob dois sistemas de preparo e duas doses de N mineral, e CO₂ perdido ou retido, na camada 0-17,5 cm de um ARGISSOLO VERMELHO. (Lovato et al., 2000).

Sistemas Preparo	Cultura	COT inicial	Adição C 13 anos		COT 13º ano		COT		CO ₂ perdido (-) ou retido (+)	
			0	180	0	180	0	180	0	180
Mg ha ⁻¹										
¹ PC	A/M	32,55	54	73	25,90	29,90	-6,65	-2,65	-24,40	-9,70
	A + V/M + C	32,55	105	120	30,60	31,80	-1,95	-0,75	-7,20	-2,80
² PD	A/M	32,55	50	85	32,60	34,80	+0,05	+2,25	+0,20	+8,30
	A + V/M + C	32,55	99	112	37,80	39,60	+7,05	+19,30	+19,30	+25,90

¹ PC: Preparo convencional; ² PD: Plantio direto.

Dois sistemas de cultura, aveia no inverno e milho no verão (A/M) e o consórcio de aveia e ervilhaca no inverno, milho e caupi no verão (A + V/M + C), foram cultivados durante 13 anos sob dois sistemas de preparo de solo (convencional e plantio direto) e duas doses de N mineral em cobertura ao milho (0 e 180 kg ha⁻¹). Os resultados demonstram o efeito positivo da adubação nitrogenada e das plantas leguminosas sobre a produção de biomassa vegetal e, conseqüentemente, sobre a redução das emissões líquidas ou sobre o seqüestro de CO₂ atmosférico. No entanto, o efeito da redução do revolvimento do solo através do plantio direto é mais determinante para o potencial do solo em seqüestrar CO₂ do que a adubação com N mineral ao milho, especialmente para sistemas compostos por plantas fixadoras de nitrogênio.

Comparando-se o conteúdo de COT do solo, após 13 anos, para o sistema A + V/M + C com 180 kg ha⁻¹ de N ao milho sob PC e PD, observa-se que sob PD, houve acúmulo de 19,3 Mg ha⁻¹ de C, enquanto sob PC, com adição similar de resíduos vegetais, houve redução de 0,75 Mg C ha⁻¹ no COT inicial. Neste caso, onde a utilização de PC determinaria um aumento da emissão de CO₂ para atmosfera de 2,80 Mg ha⁻¹ em 13 anos, a adoção do PD possibilitou o seqüestro líquido de 25,90 Mg ha⁻¹ de Co₂.

Considerando que existem dois bilhões de hectares de áreas degradadas no mundo (Lal et al., 1995), e assumindo-se um potencial de seqüestro de C, para a camada de 0-30 cm de solo, equivalente a 50% daquele observado para o sistema Lab/M sob plantio direto (0,39 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 2), a recuperação destas áreas possibilitaria um seqüestro de 0,78 Pg C ano⁻¹, equivalente a 15% do C oriundo da queima de combustíveis fósseis liberado

para atmosfera anualmente. No Brasil, atualmente existem 12 milhões de hectares de áreas cultivadas sob o sistema plantio direto. Assumindo-se o mesmo potencial de seqüestro de C adotado para áreas degradadas ($0,39 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), em todo país, haveria uma retirada líquida de $4,68 \text{ Tg de C}$ ($\text{Tg} = 10^{12} \text{ g}$) atmosférico, o que eqüivaleria ao seqüestro anual de $17,2 \text{ Tg de Co}_2$.

Isto evidencia que o manejo adequado do solo possibilita a redução da contribuição da agricultura para o efeito estufa. De forma similar, a utilização de dejetos animais como biofertilizante do solo representa um enorme potencial para seqüestro de C pelo solo, pois os dejetos suínos, quando utilizados em doses adequadas, constituem importante fonte de nutrientes às plantas, especialmente nitrogênio e fósforo, essenciais ao crescimento vegetal, o qual é componente chave para o seqüestro de gás carbônico da atmosfera.

Países como o Brasil, com 160 milhões de hectares cultivados, com grande parte do seu território situado em regiões tropicais, de elevadas temperaturas, assumem grande importância como emissores de gases do efeito estufa oriundos da agricultura, especialmente quando não são adotadas práticas conservacionistas de manejo do solo, como por exemplo, o plantio direto. Em contrapartida, a adoção de práticas de manejo que propiciem o acúmulo de matéria orgânica no solo ao longo do tempo, fator chave para manutenção e melhoria da qualidade dos nossos solos, poderão contribuir não somente para redução das emissões de CO_2 do solo para atmosfera, mas também para atingirmos a sustentabilidade agrícola. Existem indicativos fortes de que o seqüestro de C pelo solo torne-se uma "commodity" mundial, onde os agricultores receberiam bônus ou incentivos pela sua contribuição para a redução das emissões de CO_2 em qualquer parte do planeta.

Fontes das emissões de metano para a atmosfera

Embora o CH_4 e N_2O estejam presentes em menores quantidades na atmosfera, o aumento das suas concentrações é preocupante. O gás metano, liberado em lixões, oceanos, áreas alagadas e de produção de arroz irrigado, queima de florestas e pecuária, especialmente por bovinos (Figura 1), possui potencial para retenção de radiação infra-vermelho equivalente a 25 vezes o estimado para o CO_2 , enquanto que para o N_2O , este potencial é 100 a 300 vezes superior ao CO_2 .

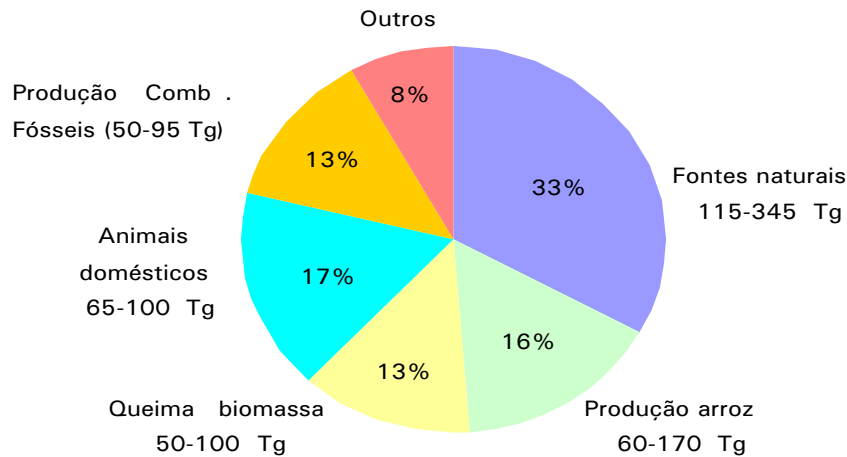


Fig. 1. Emissões anuais de metano por fonte. Burke & Lashof (1990).

As fontes naturais de metano são oriundas dos oceanos e áreas pantanosas e contribuem com até 25% da produção total deste gás. O cultivo de arroz irrigado por inundação é uma fonte importante de metano, contribuindo com 16% das emissões antrópicas deste gás. A emissão global anual de metano nos campos de arroz é estimada em 60-170 Tg (Figura 1). No Brasil, esta emissão é estimada em 0,3 Tg por ano. O metano em áreas alagadas é produto da decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio) de substâncias orgânicas, a qual é intermediada por bactérias metanogênicas.

Os ruminantes são outra fonte importante de emissão de metano à atmosfera. O metano é gerado no rúmen, produto da fermentação entérica dos herbívoros ruminantes. A fermentação dos carboidratos presentes nos vegetais ingeridos é um processo anaeróbio, efetuado por microorganismos do rúmen, os quais convertem os carboidratos em ácidos de cadeia curta (acético, propiônico e butírico). Neste processo, são produzidos também calor, CO_2 e CH_4 . A emissão de metano varia entre 4 a 9% da energia bruta do alimento ingerido, portanto, é dependente do manejo alimentar adotado.

Estima-se que as emissões globais anuais de metano por ruminantes (bovinos de corte e leite, especialmente) sejam da ordem de 80 Tg. O Brasil possui o maior rebanho bovino mundial, o que o torna um importante contribuinte para as emissões de metano de origem entérica (Figura 2).

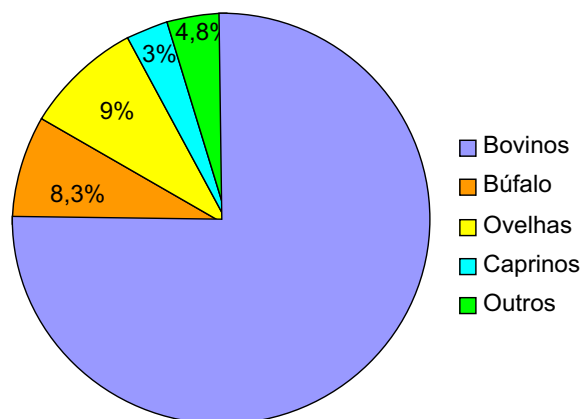


Fig. 2. Distribuição das emissões globais de metano oriundas de animais domésticos. Burke & Lashof (1990).

Dos principais gases do efeito estufa, o óxido nitroso (N_2O) é o que apresenta maior potencial para absorver radiação infra-vermelha na atmosfera. Além disso, possui alta estabilidade e afeta também a camada de ozônio.

Os óxidos de nitrogênio são oriundos de emissões industriais, queima de resíduos vegetais (campos e florestas) e, principalmente, das transformações anaeróbicas do nitrogênio no solo ou em processos de fermentação/estabilização de dejetos animais, especialmente dejetos líquidos de suínos. No solo, em uma esterqueira ou lagoa de armazenagem de dejetos suínos, sob condições de anaerobiose, os microorganismos utilizam nitrato (NO_3^-) como receptor de elétrons na sua cadeia respiratória, promovendo a redução do nitrato até formas gasosas de N, como óxido nitroso e gás nitrogênio, os quais são liberados para a atmosfera.

As informações existentes indicam que solos com alta disponibilidade de N, como as áreas que recebem adubação nitrogenada mineral ou orgânica, de plantas fixadoras de N atmosférico ou da aplicação de dejetos animais ricos em nitrogênio (por exemplo, os dejetos suínos) e com excesso de umidade, possuem alto potencial emissor de N_2O . Elevada disponibilidade de material orgânico, nitrogênio oriundo de plantas de cobertura do solo, maior preservação de umidade e maior atividade microbiana são atributos relacionados às áreas sob plantio direto no Brasil. Consequentemente, estas

áreas constituem fontes potenciais para as emissões de gases do efeito estufa, especialmente N_2O . Entretanto, mais pesquisas são necessárias para a obtenção da contribuição de cada segmento das atividades agropecuárias para o efeito estufa.

O manejo do solo tem, pelo menos, dois papéis importantes. O primeiro diz respeito a redução da contribuição destas atividades para a emissão de gases do efeito estufa e o segundo, não menos importante, indica que os nossos solos, quando bem manejados, podem seqüestrar gases emitidos por outras atividades em qualquer parte do planeta, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental e para o desenvolvimento sustentável.

Referências Bibliográficas

BURKE, L.M.; LASHOF, D.A. Greenhouse gas emissions related to agriculture and land-use practices. In: KIMBALL, B.A.; ROSENBERG, N.J.; ALLEN, L.H. (Eds.). **Impact of dioxide, trace gases, and climate change on global agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.27-43. (Special Publication, 53)

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B.A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. **Soil Management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p.1-7.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; DEBARBA, L.; FERNANDES, F.F.; VEZZANI, F.M.; PILLON, C.N. Seqüestro de CO_2 em um Argissolo Vermelho sob diferentes preparos, sistemas de cultura e níveis de N mineral. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Ceplac, 2000. p.392-393 (1 CD ROM).

PILLON, C.N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. 2000. 232p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.