

RECICLAGEM E SEQUESTRO DE CARBONO NA AGRICULTURA ORGÂNICA

Dr. Jacimar Luis de Souza¹

Dentre os Gases de Efeito Estufa - GEE emitidos pelas atividades humanas, o gás carbônico (CO₂) é responsável por cerca de 70% do potencial de elevação da temperatura terrestre. Nos últimos 250 anos, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 31%, alcançando os atuais 366 ppm - mais alto nível observado nos últimos 420 mil anos. No último século, a temperatura do planeta já subiu 0,7° C e, nos próximos cem anos, o aumento pode chegar entre 1,4° C e 5,8° C, segundo projeções do IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Marengo, 2006).

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono em um ecossistema. Entretanto, o carbono é um componente dinâmico e sensível ao manejo realizado no solo. Seu conteúdo encontra-se estável sob condições de vegetação natural, porém com a quebra do equilíbrio pelo cultivo do solo em preparo convencional, geralmente ocorre redução no seu teor, resultado das novas taxas de adição e de perda (Dalal & Mayer, 1986, citados por Dellamea et al., 2002). Segundo Cerri & Cerri (2007) o solo se constitui num compartimento chave no processo de emissão e seqüestro de carbono, pois em termos globais, há duas a três vezes mais carbono nos solos em relação ao estocado na vegetação e duas vezes mais em comparação à atmosfera. Assim, manejos inadequados do solo podem assumir um papel desastroso, pois podem mineralizar a matéria orgânica e emitir grandes quantidades de GEE para a atmosfera. Isto demonstra o grau de importância que manejos ecológicos de solos representam para o planeta atualmente.

Algumas das práticas agrícolas que causam emissões de GEE são as queimas, a fertilização mineral, as intervenções freqüentes e o preparo intensivo do solo. Porém existem outras formas de utilizar a terra que podem causar efeito inverso, incrementando o conteúdo de carbono no solo e na

¹ Pesquisador INCAPER, Área de Agroecologia - Centro Serrano, BR-262, Km 94, 29.375-000 Venda Nova do Imigrante, ES, Brasil. E-mail: jacimarsouza@yahoo.com.br

vegetação ao aumentar as quantidades de dióxido de carbono capturado, sem produzir um efeito aditivo às emissões oriundas de combustíveis fósseis (Dixon et al., 1994b, citados por Dixon, 1995).

O impacto e a contribuição das formas de uso da terra, especialmente da agricultura, para o aquecimento global têm sido recentemente discutidos pela comunidade científica nacional e internacional. Scarpellini & Bolonhezi (2007) relatam que as atividades agrícolas são responsáveis por 20% das emissões dos gases de efeito estufa, em nível global, de acordo com dados do IPCC do ano de 2001. Kevin et al. (2005), citados por Forum ... (2006) indicam 31,7% para a mudança de uso da terra e agricultura. No caso específico do Brasil, o Inventário Nacional de 2004 indicou que 75% das emissões de CO₂ – no período de 1990 a 1994 – foram de responsabilidade da mudança do uso da terra e, principalmente, do desmatamento na Amazônia (Forum ..., 2006).

O aumento da temperatura e as mudanças no regime hídrico, causados pelo aquecimento global, terão um grande impacto na produção agrícola do Brasil (Assad et al., 2004). O estudo sugere, a partir de simulações feitas com base no aumento de temperatura de 1° C, 3° C e 5,8° C e no acréscimo de 5%, 10% e 15% na precipitação pluviométrica, que, mantidos esses cenários, um forte rearranjo espacial poderá acontecer na geografia da produção agrícola brasileira. Culturas perenes, como o café, tendem a procurar regiões com temperaturas máximas mais amenas, e o eixo de produção poderá se deslocar para o sul do país. As elevadas temperaturas de verão vão condicionar o deslocamento de culturas como arroz, feijão, milho e soja para a região Centro-Oeste, podendo mudar de modo significativo o zoneamento agrícola brasileiro.

Dixon (1995) relata que as práticas de cultivo mínimo do solo, a incorporação de restos culturais e resíduos orgânicos, a adubação verde e as rotações utilizando cultivos de cobertura com gramíneas ou leguminosas, retém o carbono nos solos por décadas, inclusive séculos. Baseado nesses relatos e como as práticas da agricultura orgânica pressupõem o emprego de todas essas estratégias, estas se apresentam como excelentes alternativas para fixação do carbono e a redução do principal gás de efeito estufa, o CO₂.

Diante do problema do aquecimento global, a quantificação dos fluxos de CO₂ deve ser inserida como parte da abordagem energética e de sustentabilidade de sistemas de produção agrícola (Souza, 2006). Portanto, monitorar o estoque de carbono dos solos submetidos a práticas ecológicas de manejo e a práticas de manejo em agricultura orgânica, tornam-se cada vez mais necessários.

Müller-Lindenlauf (2009), em documento da FAO, analisa as possibilidades da agricultura orgânica ser considerada atividade significativa para o sequestro de carbono. Referencia muitos

trabalhos que demonstram alto nível de captura de carbono em sistemas orgânicos de produção, contribuindo para o aumento do estoque de carbono no solo e na biomassa.

Em sistemas orgânicos de produção de hortaliças pressupõe-se a reciclagem de resíduos orgânicos, como esterco de animais para inoculação de compostos, fato que contribui para elevar o estoque de carbono do solo, visto que estes retornariam para a atmosfera na forma de CO₂, se não fossem reciclados. As adubações dos solos com composto orgânico também contribui significativamente para o aumento do estoque de carbono do solo, pela sua rica composição em matéria orgânica, onde se destaca um teor médio de 52%, o que corresponde a 30,2% de Carbono (**Tabela 1**).

Tabela 1: Composição média de compostos orgânicos no período de 1990 a 2009. INCAPER, Domingos Martins, 2010.¹

Adubo orgânico	M.O. (%)	C/N	pH	MACRO (%)					MICRO (ppm)				
				N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	B
Composto	52	16/1	7,3	2,0	1,2	1,2	4,8	0,5	54	188	12.424	793	25

¹ Média de 50 medas.

Sistemas orgânicos de produção que se baseiem em princípios ecológicos e utilizem práticas agroecológicas, podem contribuir significativamente para o seqüestro de carbono atmosférico. Dentre estes, destacam-se:

- Sistema diversificado com preservação parcial da vegetação nativa local (**Figura 1A**);
- Fixação de carbono por área em capineiras utilizadas para produção de biomassa para a compostagem orgânica (**Figura 1B**);
- Reciclagem de resíduos orgânicos pela compostagem orgânica, para produção de adubo orgânico para as culturas (**Figura 1C**);
- Plantio Direto de hortaliças sobre palhadas de adubos verdes (**Figura 1D**);
- Cultivo solteiro de adubos verdes em rotação, visando proteção do solo e fixação de carbono e nitrogênio (**Figura 1E**);
- Manutenção de corredor de refúgio com espécies espontâneas, visando manter a estabilidade ecológica e controlar a erosão (**Figura 1F**);

- Manejo da vegetação espontânea entre as linhas de cultivo de hortaliças, pela técnica da capina em faixa, proporcionando proteção do solo, maior diversidade, equilíbrio ecológico, controle de erosão e ciclagem de nutrientes no perfil do solo (**Figura 1G**);
- Manutenção da vegetação espontânea entre os canteiros pela roçada, para proteção do solo, para refúgio de predadores, proteção do solo e ciclagem de nutrientes (**Figura 1H**);
- Emprego da adubação em cobertura para melhoria nutricional das culturas, empregando-se composto orgânico e biofertilizantes líquidos (**Figura 1I e 1J**, respectivamente).

Estudos realizados numa área experimental de agricultura orgânica do INCAPER, monitorando anualmente diversas unidades de solo desde 1990, com amostragens múltiplas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, registraram um significativo aumento no teor de matéria orgânica (e conseqüentemente de carbono), durante os últimos 20 anos de cultivo orgânico de hortaliças (**Figura 2**). Neste estudo, o manejo de matéria orgânica e a fixação de carbono no sistema se deram pela fixação de biomassa em capineiras e adubos verdes (gramíneas e leguminosas), pela ciclagem de resíduos através da importação de esterco de galinha para a compostagem e pelo manejo da vegetação espontânea local.

Neste processo, ocorre uma dinâmica intensa de carbono, envolvendo *ganhos* (na forma de Carbono e CO₂, pelas práticas mencionadas) e *perdas* (por emissões naturais de CO₂ no sistema de compostagem e no preparo mecânico dos solos para plantio). Neste estudo avaliou-se o acúmulo temporal, analisando o *saldo* de Carbono no processo, estando inserido todo processo de *ganhos* e *perdas*. Com base na **Figura 2**, a média dos teores de matéria orgânica (MO) dos solos, na camada de 0 a 20 cm, mostrou elevações significativas. Os dados estimados pela curva de regressão apresentaram ajuste quadrático, com a matéria orgânica elevando-se de 2,1% até 3,6% em 20 anos (elevação de 71%).



Figura 1: Práticas relacionadas ao manejo e à reciclagem de matéria orgânica, adotadas no projeto. INCAPER, Domingos Martins, 2010.

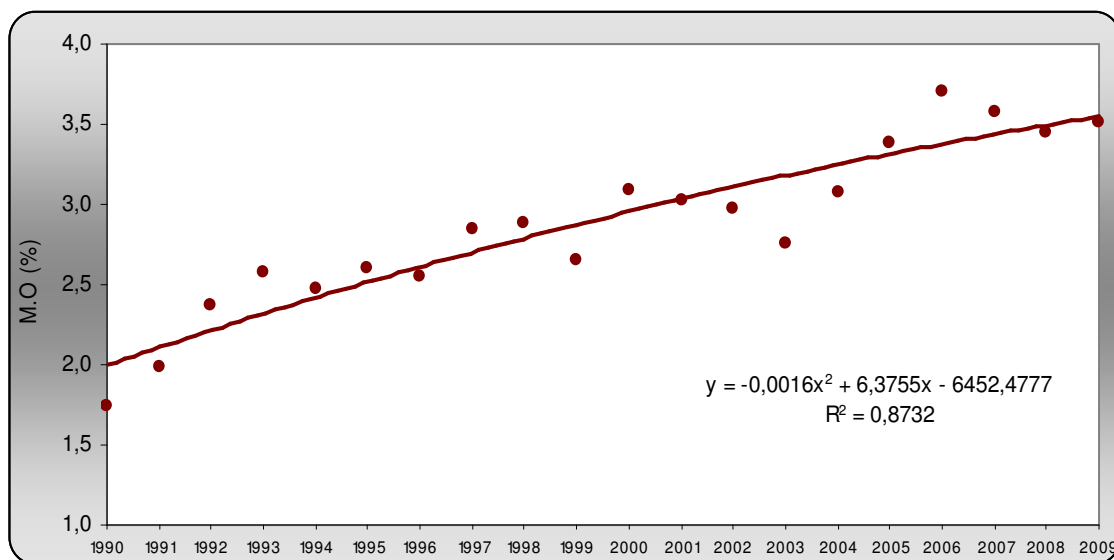


Figura 2: Evolução da Matéria Orgânica dos solos submetidos a manejo orgânico durante 20 anos. INCAPER, Domingos Martins, 2010.

Visando ampliar a estimativa de estoque de Carbono até 40 cm de profundidade, os valores observados na camada de 0 a 20 foram multiplicados pelo índice médio de 1,65. Este índice foi obtido em análises comparativas do teor de matéria orgânica nas duas profundidades, que indicaram que os teores na camada de 20 a 40 cm representam, em média, 65% dos teores contidos na camada de 0 a 20 cm de profundidade nestes solos.

Na **Tabela 2** estão os dados observados na camada de 0 a 20 cm e as estimativas para a camada de 0 a 40 cm de profundidade, indicando que até esta profundidade o conteúdo de carbono elevou-se em 33,898 t (de 33,229 t em 1990, para 67,127 t em 2009). Por consequência, o estoque de CO₂ equivalente elevou-se em 112,133 t, de 121,840 t para 246,131 t no mesmo período. Isto representa médias anuais de fixação de 1,69 t C e de 5,61 t CO₂, comprovando a eficiência do manejo orgânico dos solos no seqüestro e na fixação de carbono.

Tabela 2: Valores de matéria orgânica (MO), carbono (C) e dióxido de carbono correspondente (CO₂), em duas profundidades de solos sob manejo orgânico. INCAPER, Domingos Martins, 1990 a 2009.

Anos após início do manejo	0 a 20 cm				0 a 40 cm					
	Teor de MO observado	Teor de MO estimado ¹	Teor de C observado	Teor equivalente CO ₂	Conteúdo de C	Acúmulo de C	Incremento estimado de C ¹	Conteúdo equivalente de CO ₂	Acúmulo equivalente de CO ₂	Incremento estimado de CO ₂ ¹
	(dag kg ⁻¹)				(t ha ⁻¹)	(t)	(t)	(t ha ⁻¹)	(t)	(t)
Ano 1 (1990)	1,740	2,069	1,007	3,692	33,229	0,000	-	121,840	0,000	-
Ano 2 (1991)	1,990	2,146	1,152	4,223	38,003	4,774	2,098	139,346	5,348	6,809
Ano 3 (1992)	2,375	2,222	1,374	5,040	45,356	12,127	2,038	166,305	32,307	6,667
Ano 4 (1993)	2,580	2,299	1,493	5,475	49,271	16,042	1,978	180,660	46,662	6,526
Ano 5 (1994)	2,470	2,377	1,429	5,241	47,170	13,941	1,918	172,957	38,959	6,384
Ano 6 (1995)	2,605	2,454	1,508	5,528	49,748	16,519	1,858	182,410	48,412	6,243
Ano 7 (1996)	2,555	2,532	1,479	5,421	48,793	15,564	1,798	178,909	44,911	6,102
Ano 8 (1997)	2,840	2,611	1,644	6,026	54,236	21,007	1,737	198,866	64,868	5,960
Ano 9 (1998)	2,885	2,689	1,670	6,122	55,095	21,866	1,677	202,017	68,019	5,819
Ano 10 (1999)	2,660	2,768	1,539	5,644	50,799	17,569	1,617	186,262	52,264	5,677
Ano 11 (2000)	3,085	2,848	1,785	6,546	58,915	25,686	1,557	216,021	82,023	5,536
Ano 12 (2001)	3,030	2,927	1,753	6,429	57,865	24,635	1,497	212,170	78,172	5,394
Ano 13 (2002)	2,972	3,007	1,720	6,306	56,757	23,528	1,437	208,109	74,111	5,253
Ano 14 (2003)	2,753	3,088	1,593	5,842	52,575	19,345	1,377	192,774	58,776	5,111
Ano 15 (2004)	3,079	3,168	1,782	6,533	58,800	25,571	1,317	215,601	81,603	4,970
Ano 16 (2005)	3,380	3,249	1,956	7,172	64,549	31,319	1,257	236,678	102,680	4,828
Ano 17 (2006)	3,710	3,331	2,147	7,872	70,851	37,622	1,196	259,786	125,788	4,687
Ano 18 (2007)	3,580	3,412	2,072	7,596	68,368	35,139	1,136	250,683	116,685	4,545
Ano 19 (2008)	3,447	3,494	1,995	7,314	65,828	32,599	1,076	241,370	107,372	4,404
Ano 20 (2009)	3,515	3,576	2,034	7,459	67,127	33,898	1,016	246,131	112,133	4,262

¹ Valores estimados pela equação de regressão linear.

Verifica-se que o conteúdo (**Figura 3**) e o acúmulo (**Figura 4**) de CO₂ equivalente, apresentaram elevações durante 20 anos. Devido aos aumentos tenderem ser menores com o passar dos anos, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados.

Os incrementos anuais de CO₂ (elevações de um ano para outro) no sistema foram decrescentes, iniciando em 6,81 t ha⁻¹ no 1º ano, chegando a 4,26 t ha⁻¹ no 20º ano (**Figura 5**). Isto indica que o potencial de seqüestro de carbono tende a diminuir com o tempo, conferindo incrementos menores a cada ano.

É importante destacar que práticas agrícolas seqüestradoras de carbono devem ser contínuas para que o CO₂ fixado não seja perdido. Assim, por exemplo, o sistema plantio direto pode aumentar o carbono armazenado no solo se for realizado continuamente, porém se for interrompido por um ano pelo preparo intensivo de solo, pode-se perder grande parte do carbono do solo acumulado por vários anos (Grupo..., 2000). Esta consideração também é válida para a agricultura orgânica, na qual as práticas conservacionistas devem ser permanentes, tanto para conservar quanto para compensar os ganhos e perdas de carbono no tempo. Exemplo disso é a produção de biomassa em capineiras perenes para a compostagem, que são fontes de alta eficiência na captação de CO₂. Este volume é constantemente produzido e cortado para a confecção de composto, e quando o composto está sendo feito (e perdendo CO₂ pela fermentação em sistema aberto), a capineira retoma seu crescimento e captura mais carbono da atmosfera. Nesse caso temos uma imobilização do carbono pela constância do ciclo. No sistema orgânico de produção de hortaliças do INCAPER, são produzidas anualmente 360 m³ de biomassa triturada (72 toneladas de resíduo úmido), em 3.000 m² de capineiras que auxiliam na sustentação do sistema com 3,0 ha de área total. Portanto, o período de ganhos com seqüestro e fixação de carbono em sistemas orgânicos dependerá fortemente de 2 fatores: da *intensidade* de aplicação das práticas seqüestradoras e da *constância* de uso das mesmas.

Segundo Cerri & Cerri (2007), o padrão de emissão de gases pelas atividades humanas no Brasil é completamente diferente da situação global. A mudança no uso da terra e florestas, envolvendo o desmatamento e as práticas agrícolas, são as principais fontes de emissão de GEE, representando 75% das emissões brasileiras. Apenas 25% são derivadas da queima de combustíveis fósseis. Por este motivo, a contribuição relativa das práticas de agriculturas preservacionistas pode ser considerada expressiva para reduzir emissões no Brasil.

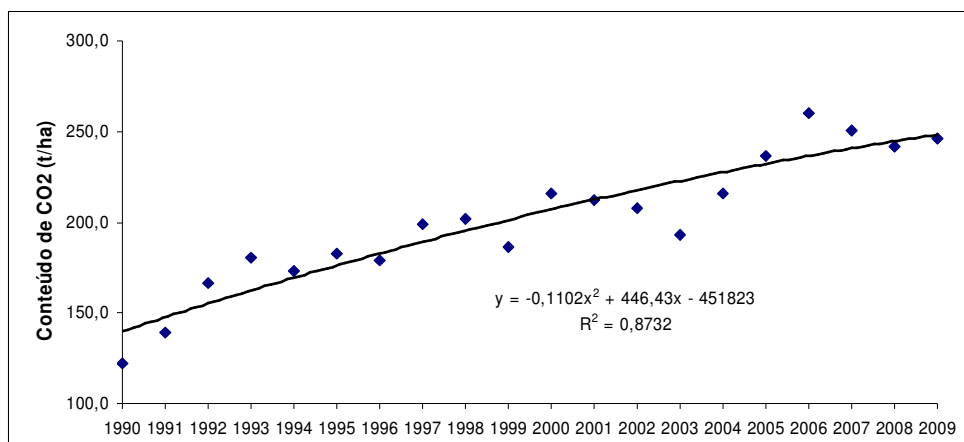


Figura 3: Conteúdo de CO₂ equivalente, na camada de 0 – 40 cm, em solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, Domingos Martins, 1990 a 2009.

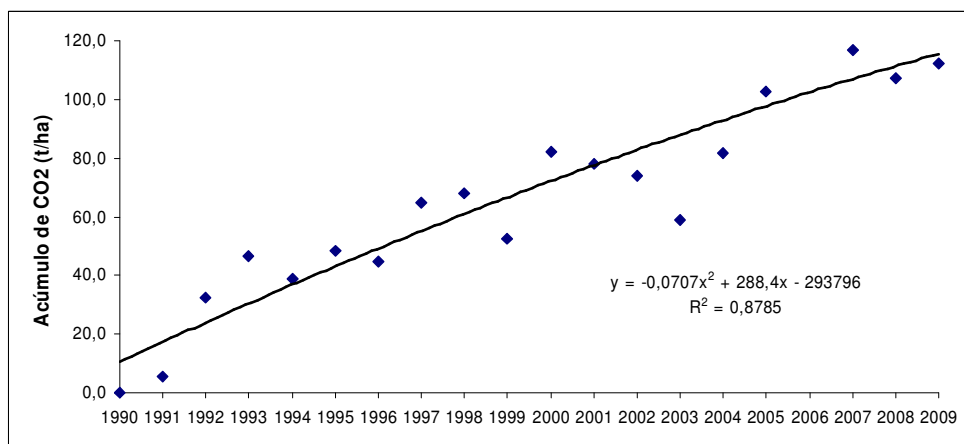


Figura 4: Acúmulo de CO₂ equivalente, na camada de 0 – 40 cm, em solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, Domingos Martins, 1990 a 2009.

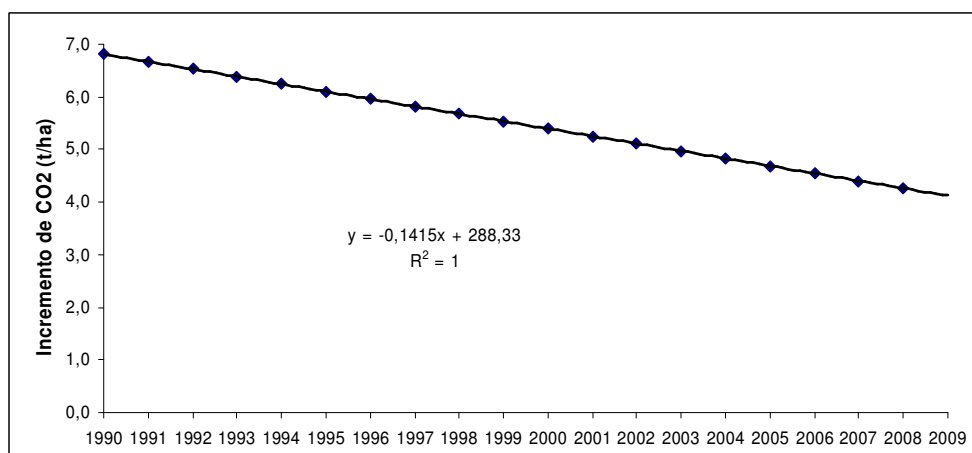


Figura 5: Incrementos anuais estimados de CO₂ equivalente, na camada de 0 – 40 cm, em solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, Domingos Martins, 1990 a 2009.

Indicadores apresentados por Cerri & Cerri (2007), baseados em Bernoux et al. (2001), revelam que as taxas anuais líquidas de emissão de CO₂ no Brasil, considerando-se apenas as atividades agrícolas, foram de 0,01265 Gt C (0,0464 Gt CO₂) na média de 20 anos (1975-1995). Segundo os autores, a adoção de práticas de manejo menos agressivas, como a adoção do sistema plantio direto em substituição ao sistema convencional e a colheita da cana-de-açúcar mecanicamente, em substituição à colheita com queima da palha, poderiam evitar a emissão de 0,009 e 0,00155 Gt C ano⁻¹, respectivamente. Ambas somariam 0,0106 Gt C ano⁻¹, que seriam quase suficientes para compensar toda emissão líquida de 0,01265 Gt C ano⁻¹ de todo território brasileiro no período analisado.

Utilizando como referência a emissão anual de 0,0464 Gt CO₂ pelas atividades agrícolas e fazendo-se uma análise dos dados obtidos no cultivo orgânico de hortaliças nestes últimos 20 anos relatados anteriormente, a fixação anual de 5,61 t CO₂, se projetada para a área ocupada com agricultura orgânica no Brasil em 2007 (IFOAM, 2009), somaria 0,0052 Gt CO₂, ou seja, representaria 11,20% de toda emissão do setor, mesmo representando apenas 1,33% da área (**Tabela 3**). Da mesma forma, a projeção de fixação de CO₂ para toda a área agrícola brasileira (WWF-Brasil, 2009), baseado nos índices deste trabalho totalizaria 0,3927 Gt, CO₂ por ano, o que representaria 8,46 vezes mais toda emissão anual do setor agrícola, relatada por Cerri & Cerri (2007).

Tabela 3: Estimativa de fixação de CO₂, em Giga Toneladas (Gt) , na camada de 0 a 40 cm de profundidade, em solos agrícolas sob manejo orgânico. INCAPER, Domingos Martins, 2010.

Indicador	Período	Áreas		
		Horticultura 1,0 ha (t)	Orgânica ¹ 932.120 ha (Gt = t 10 ⁹)	Agrícola total ² 70.000.000 ha (Gt = t 10 ⁹)
CO ₂	20 anos	112,13	0,1040	7,8540
	anual	5,61	0,0052	0,3927

¹ Área ocupada com agricultura orgânica certificada no Brasil (IFOAM, 2009).

² Soma das áreas da safra 2008/09, ocupadas com grãos, café, fruticultura, cacau, horticultura e cultivos florestais comerciais (WWF-Brasil, 2009).

A ratificação do Protocolo de Quioto, no qual os países desenvolvidos assumiram metas de redução das emissões de gases causadores de efeito estufa, cria a expectativa de que, em um

futuro próximo, produtores rurais que adotem práticas agroecológicas na agricultura possam obter compensações pela prestação de serviços ambientais.

Portanto, uma análise do potencial de sistemas orgânico de produção, que sejam eficientes recicladores de carbono e CO₂, para acessar o mercado internacional de crédito de carbono, torna-se cada vez mais uma necessidade. No presente caso, a fixação anual de 5,61 t CO₂ por ha/ano (tomando por base o preço de 16,20 euros por tonelada de CO₂ - aproximadamente R\$ 35,00), negociado na Bolsa de Mercadorias e Futuros em setembro de 2007 (Bolsa ..., 2008), corresponderiam a R\$ 196,35. Propriedades rurais com áreas médias cultivadas em torno de 10 ha têm potencialmente a possibilidade de crédito de carbono na base R\$ 1.963,50 por ano, que em 20 anos somariam R\$ 39.270,00/ha pela fixação total acumulada de 112,13 t de CO₂.

CONCLUSÕES

O manejo agroecológico em sistemas de produção permite elevar o teor de matéria orgânica dos solos, pela reciclagem e seqüestro de carbono atmosférico;

Os ganhos com seqüestro e fixação de carbono em sistemas orgânicos de produção dependerão fortemente da intensidade de aplicação das práticas seqüestradoras e da constância de uso das mesmas;

Sistemas orgânicos de produção apresentam elevado potencial para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa, podendo contribuir para a redução do Aquecimento Global.

LITERATURA CITADA

ASSAD, ED.; PINTO, HS.; ZULLO JÚNIOR, J; ÁVILA, AMH. 2004. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café na Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 11, p.1057-1064.

Bolsa de Mercadorias & Futuros. 2008. Histórico de Leilões. Disponível em: <http://www.bmf.com.br/portal/pages/MBRE/negociacao.asp>. Acesso: 10 mar. 2008.

CERRI, CC; CERRI, CEP. 2007. Agricultura e Aquecimento Global. 2007. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.arruda.rits.org.br/oeco/reading/pdf>. Acesso:10 jun. 2007.

DELLAMEA, RBC.; AMADO, TJC; GRAPEGGIA JÚNIOR, G; PEDROSO, MT; LEMAINSKI, CL; VEZZANI, F; DIDONÉ, AJ. 2002. Potencial de acúmulo de C e N de

- áreas agrícolas na microbacia Cândido Brum, Arvorezinha-RS. In: XIV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Cuiabá, MT.
- DIXON, RK. 1995.** Sistemas agroflorestales y gases invernadero. *Agroforesteria en las Americas*, Turrialba, v. 2, n. 7, p.22-26.
- FORUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - FBMC. 2006.** Relatório de atividades 2005. 98 p.
- GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 2000.** Informe Especial del IPCC: Uso de la tierra, Cambio de uso de la tierra y Silvicultura. OMM/PNUMA, 30 p.
- IFOAM. 2009.** The World of Organic Agriculture: Statistics & emerging trends 2009. Bonn: IFOAM, 307p.
- MARENGO, JA. 2006.** Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 212 p.: il. color ; 21 cm. (Série Biodiversidade, v. 26).
- MULLER-LINDENLAUF, M. 2009.** Organic Agriculture and Carbon Sequestration: Possibilities and constrains for the consideration of organic agriculture with carbon accounting systems. Rome: FAO,. 29P.
- SCARPELLINI J. R.; BOLONHEZI, D. 2007.** O aquecimento global e a agricultura em São Paulo. 2007. Artigo em Hypertexto, 5 p. Disponível em http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/Aquecimentoglobal/Index.htm. Acesso: 29 mai. 2007.
- SOUZA, J. L. de. 2006.** Balanço energético em cultivos orgânicos de hortaliças. Tese de doutorado. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, UFV, 207 p.
- WWF-Brasil. 2009.** O impacto do mercado mundial de biocombustíveis na expansão da agricultura brasileira e suas consequências para as mudanças climáticas. Brasília: WWF-Brasil, 72p.