



10ª CNA-XII CNEA

10ª Conferência Nacional do Ambiente
XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente

Repensar o Ambiente: Luxo ou inevitabilidade?

Editores

Carlos Borrego, Ana Isabel Miranda, Luís Arroja, Teresa Fidélis,

Eduardo Anselmo Castro, Ana Paula Gomes

Universidade de Aveiro
6 a 8 de novembro de 2013

Emissões de carbono do solo decorrentes da utilização agrícola de resíduos orgânicos

Carneiro, J. P.^{a,c}, Coutinho, J.^b, Trindade, H.^c

^(a) CERNAS - Centro de Estudos de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade, Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Castelo Branco, Qt^a. Sra de Mércules, Ap. 119, 6001-909 Castelo Branco, Portugal jpc@ipcbr.pt

^(b) Centro de Química. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5001-801 Vila Real, Portugal j.coutin@utad.pt

^(c) CITAB – Centro de Investigação e de Tecnologias Agroambientais e Biológicas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Ap. 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal htrindad@utad.pt

RESUMO

O aquecimento global promovido pelo aumento da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, tais como o dióxido de carbono (CO₂) ou o metano (CH₄), tem suscitado as maiores preocupações. Entre as medidas de mitigação surgidas ao abrigo do Protocolo de Kyoto, foi proposto o aumento do potencial de consumo de C por parte dos solos agrícolas, nomeadamente através da incorporação de resíduos orgânicos. O solo pode atuar como destino ou fonte de carbono atmosférico, na forma de CO₂ ou CH₄, sendo escassa a informação disponível sobre o efeito da fertilização nas emissões *in situ* destes dois gases em ecossistemas agrícolas, nomeadamente para condições mediterrânicas. Durante dois anos foram avaliadas na região de Castelo Branco, as emissões de CO₂ e CH₄ quando se aplicaram ao solo adubos minerais azotados e/ou diferentes resíduos orgânicos, numa sucessão de culturas milho-aveia, para produção de forragem. Os resíduos orgânicos utilizados foram o compostado de resíduos sólidos urbanos e as lamas de depuração urbanas, aplicados de forma repartida pelas duas culturas (RSU e Ldep, respetivamente) ou só à sementeira da cultura de Primavera-Verão (RSU-P e Ldep-P, respetivamente), e o chorume de origem bovina (Ch), incorporado à sementeira de ambas as culturas. Considerou-se ainda a prática de uma adubação tradicional (Adtrad) e a não aplicação de qualquer fertilizante (Controlo). O total de azoto doseado foi igual em todos os tratamentos com fertilização (aveia 80 Kg N ha⁻¹; milho 170 kg N ha⁻¹). A medição das emissões (em 165 dias) foi feita com recurso a câmaras estáticas de policloreto de vinilo (PVC) e as concentrações dos dois gases foram determinadas usando um analisador de gases foto-acústico de infravermelhos. Em cada dia de medição foram feitas amostragens ao fecho das câmaras (t₀) e uma hora depois (t₁), tendo os fluxos sido calculados com base nas diferenças de concentração entre t₁ e t₀. No primeiro ano o Outono foi chuvoso e no Verão foram registadas temperaturas muito elevadas, o que favoreceu a emissão de C por parte do solo, nomeadamente na forma de CO₂. Neste ano não se registaram diferenças significativas nas perdas totais de C (C-CO₂ + C-CH₄) medidas em Controlo e Adtrad (cerca de 6,0 t C ha⁻¹ ano⁻¹) e os valores mais altos ocorreram em RSU-P e Ldep (próximos de 8,0 t C ha⁻¹ ano⁻¹, respetivamente). Para avaliação da eficiência dos diferentes sistemas de fertilização em termos de perdas de C a partir do solo, foram calculadas as perdas percentuais de C acumuladas aparentes relativamente ao C aplicado e determinadas as emissões de C por unidade de matéria seca produzida. Constatou-se que a prática da adubação azotada tradicional tenderá a contribuir mais para o aumento do teor de C no solo do que a não fertilização, e que uma utilização criteriosa de resíduos orgânicos na fertilização de culturas é suscetível de contribuir para o sequestro de C no solo. Como práticas mais aconselháveis recomendar-se-ia a aplicação de chorume, e sobretudo de lamas de depuração, à primavera e, a utilização de compostado de resíduos sólidos urbanos em simultâneo com adubos minerais.

PALAVRAS-CHAVE: dióxido de carbono, metano, fertilização azotada, fertilização orgânica

INTRODUÇÃO

De acordo com o Decreto-Lei nº 73/2011, resíduos são quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer. Sem ser essa a pretensão, facilmente se associa a esta definição a ideia de se estar perante um conjunto de produtos desprezíveis, nefastos, sem qualquer interesse ou valor. Tal será verdade para muitos deles, mas não para resíduos orgânicos que reúnam características adequadas para uma valorização agrícola. Tipicamente, resíduos orgânicos, mais do que resíduos, são subprodutos de atividades agrícolas, industriais ou municipais, que contêm na sua composição compostos de carbono.

A fertilidade da maior parte dos nossos solos está normalmente dependente do seu teor em matéria orgânica (MO), mas mais de 70% dos solos Nacionais apresentam um teor muito baixo, inferior a 1%. A MO do solo é composta em larga medida (58%) por carbono (C), pelo que a aplicação aos solos de produtos em cuja composição esteja presente este elemento, poderá contribuir para a melhoria da fertilidade dos mesmos. Para além disso, o aumento do potencial de consumo de C por parte dos solos agrícolas, nomeadamente através da aplicação de resíduos orgânicos, está entre as medidas surgidas ao abrigo do Protocolo de Kyoto, para a mitigação da emissão de gases com efeito de estufa (GEE) associadas à produção agrícola.

Ainda que sob diversas perspetivas seja desejável a valorização agrícola de subprodutos orgânicos, quando as características dos mesmos o permitam, não pode ser ignorado o facto de tais produtos poderem possuir um carácter poluente, nomeadamente quando usados indevidamente. Deste modo, há que procurar identificar, para determinado condicionalismo, que resíduo aplicar, quanto, quando e como fazê-lo, tornando-se para isso necessário procurar conhecer a sua composição, o seu comportamento no solo e efeitos agroambientais decorrentes da sua incorporação no solo. Atendendo às preocupações que presentemente se colocam relativamente à questão das alterações climáticas, um dos efeitos que importa avaliar é o da emissão/remoção de GEE. Entre esses gases encontram-se o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄). Na verdade os solos podem atuar como destino de carbono, nomeadamente através da remoção destes gases da atmosfera, mas também se podem constituir como locais de produção dos mesmos. Efetivamente, o CO₂ fixado através da fotossíntese pode ser armazenado no solo na forma de C orgânico, através da conversão de resíduos de plantas em matéria orgânica do solo mas, é também emitido pelo solo em resultado da respiração que nele ocorre. De acordo com o citado por Stockmann et al. (2013), a respiração do solo é usualmente definida como o CO₂ libertado a partir do solo para a atmosfera, através da atividade combinada das raízes e de micro e macro-organismos decompositores de matéria orgânica no solo. Quanto ao CH₄, é um gás que pode ser consumido quando se verifica a sua oxidação por bactérias metanotróficas e nitrificantes em solos suficientemente arejados, mas também pode ser produzido nos solos quando se observem condições de anaerobiose, durante a decomposição de matéria orgânica através de fermentação metanogénica (Nieder e Benbi, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do ensaio

O ensaio de campo decorreu na região centro interior de Portugal, em Castelo Branco, num Cambissolo dístico. Nos primeiros 30 cm o solo apresentava 12 g kg⁻¹ de matéria orgânica (digestão sem aquecimento externo do C-orgânico com Na₂Cr₂O₇ e titulação com FeSO₄), 6,1 pH (H₂O) (razão solo/água de 1/2,5, p/p), 265 e 293 mg kg⁻¹ P₂O₅ e K₂O (Egner-Riehm). O estudo realizou-se durante dois anos culturais (Ano I e Ano II), entre Maio de 2006 e Maio de 2008, considerando a implementação da uma sucessão de culturas milho x aveia para produção de forragem. Os resíduos orgânicos utilizados foram o compostado de resíduos sólidos urbanos e as lamas de depuração urbanas, aplicados de forma repartida pelas duas culturas (RSU e Ldep, respetivamente) ou só à sementeira da cultura de Primavera-Verão (RSU-P e Ldep-P, respetivamente), e o chorume de origem bovina (Ch), incorporado à

sementeira de ambas as culturas. Foram ainda considerados os tratamentos com aplicação de adubos azotados minerais convencionais (Adtrad) e sem aplicação de qualquer fertilizante (Controlo). Os resíduos e os fertilizantes minerais foram aplicados ao solo de forma a serem doseadas as mesmas unidades de azoto em todos os tratamentos com fertilização: 80 e 170 kg N ha⁻¹ na cultura de aveia e na do milho, respetivamente. Na aveia os resíduos foram aplicados numa quantidade capaz de dosear todo o azoto a dispensar à cultura (80 kg N ha⁻¹). No milho, à exceção do sucedido no tratamento Ch, em que todo o azoto foi disponibilizado através do resíduo, a utilização de resíduos foi complementada com aplicação de adubo mineral em cobertura (90 kg N ha⁻¹ através de resíduos, 80 kg N ha⁻¹ através de adubo mineral). Na Tabela 1 apresentam-se a quantidade de resíduo e de carbono aplicadas ao solo em cada cultura. Em Adtrad a repartição da aplicação dos adubos em fundo (sulfato de amónio 20,6%) e em cobertura (nitroamoniaco 20,5%) foi de 30 e 50 kg N ha⁻¹ e de 90 e 80 kg N ha⁻¹, na cultura da aveia e milho, respetivamente. Em todas as culturas os resíduos foram incorporados nos respetivos talhões imediatamente antes da sua sementeira.

Tabela 1 - Quantidade de resíduo (QR) e de carbono (QC) incorporada no solo na fertilização das culturas. Os valores de quantidade de resíduo são referidos à matéria fresca e estão expressos em t ha⁻¹. QC está expressa em kg ha⁻¹.

Tratamento	Milho		Aveia		Sucessão	
	QR	QC	QR	QC	QR	QC
Ano I						
Ch	189	1258	31	659	220	1917
RSU	6	1547	5	1240	11	2787
RSU-P	12	3094	0	0	12	3094
Ldep	11	902	10	718	21	1620
Ldep-P	21	1721	0	0	21	1721
Ano II						
Ch	55	1530	31	729	86	2259
RSU	6	1640	5	1103	11	2743
RSU-P	11	3006	0	0	11	3006
Ldep	11	952	10	801	21	1753
Ldep-P	21	1817	0	0	21	1817

Os 7 tratamentos foram distribuídos aleatoriamente em cada um dos três blocos em que o campo foi dividido, em talhões com 45 m² (5,6 m x 8,0 m). As práticas culturais adotadas foram as normalmente praticadas pelos agricultores.

Condições climáticas

Durante os dois anos de ensaio, foram registadas diferenças importantes nas condições climáticas. O Inverno do Ano II foi bastante seco, enquanto o Outono do Ano I foi considerado para Portugal Continental como o terceiro mais chuvoso desde 1931 (APA/FCT-UNL, 2007). Durante o Verão deste mesmo ano, em particular no mês de Julho, registaram-se temperaturas muito elevadas, tendo a onda de calor sentida neste mês sido considerada a mais significativa desde 1941 (APA/FCT-UNL, 2007). Já durante o Verão do Ano II, mediram-se temperaturas inferiores ao normalmente registado nesta época.

Avaliação das emissões de CO₂ e CH₄

A medição das emissões foi feita com recurso a câmaras estáticas de policloreto de vinilo (PVC), de 24,0 cm diâmetro e 16,5 cm de altura, inseridas no solo a uma profundidade de 5,0 cm. Foram instaladas 2 câmaras por talhão (repetição), o que permitiu a obtenção de 6 amostragens por tratamento, em cada dia de medição. As câmaras foram colocadas imediatamente após cada incorporação de fertilizantes/sementeira, mantendo-se durante cada período de permanência (ciclo da cada cultura) sempre abertas, exceto quando da realização de medições. Durante o ensaio foram efetuadas 165 medições (36, 50, 28 e 51,

em cada uma das culturas, de forma sequencial), sempre à mesma hora do dia (11-13h). A periodicidade da sua realização foi diária nos primeiros 15 dias que se seguiram à aplicação de fertilizantes, e com um intervalo de 3-5 dias durante o restante período de desenvolvimento das culturas. As concentrações de CO₂ e CH₄ foram determinadas usando um analisador de gases foto-acústico de infravermelhos - monitor multigás foto-acústico Innova 1314 -, tendo as concentrações sido corrigidas pelo analisador para uma temperatura de 20°C. Foram feitas amostragens ao fecho das câmaras (t₀) e uma hora depois (t₁), tendo os fluxos de ambos os gases sido calculados com base nas diferenças de concentração entre t₁ e t₀. As emissões médias diárias em cada tratamento foram estimadas a partir da média aritmética dos resultados obtidos nas seis câmaras, e as perdas acumuladas calculadas através da interpolação linear da evolução dos fluxos entre duas datas de medição e integração sobre o tempo (Wang et al., 2002). A percentagem de carbono orgânico aplicado emitido na forma de C-CO₂ e C-CH₄ (PCAE), foi calculada através da expressão

$$PCAE (\%) = \frac{(C - C_{x_{fert}} - C - C_{x_{controlo}})}{C_{aplicado_{fert}}} \times 100$$

em que C_{aplicado_{fert}} corresponde à quantidade de C aplicado ao solo através do fertilizante, e C - C_{x_{fert}} e C - C_{x_{controlo}} representam, respectivamente, a quantidade de C-CO₂ ou C-CH₄ emitida quando se incorporou resíduo orgânico no solo, e a emitida na ausência de qualquer fertilização (Fangueiro et al., 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de azoto mineral pode afetar as perdas do solo em CO₂, de forma direta através do fornecimento de azoto às culturas e aos microrganismos, e de forma indireta pela influência que pode haver sobre o valor do pH e, conseqüentemente, sobre a atividade microbiana (Rastogi et al., 2002). Ainda assim, no ensaio realizado as emissões acumuladas de CO₂ a partir do solo em Adtrad não foram significativamente diferentes das medidas com a não fertilização (cerca de 5 t C-CO₂ como valor médio em ambos tratamentos, na sucessão de culturas). Associando tal resultado a uma maior deposição ao solo de resíduos de culturas em Adtrad, em resultado da maior produção de matéria seca verificada neste tratamento (resultados não apresentados), comprova-se poder a adubação mineral azotada contribuir para um maior aumento de C no solo, do que a não fertilização das culturas.

A aplicação ao solo de resíduos orgânicos resultou, em termos gerais, num aumento de emissões de CO₂ para a atmosfera, confirmando-se o anteriormente verificado noutros estudos (Jarecki et al., 2008; Iovieno et al., 2009; Heller et al., 2010). Na média dos dois anos, as transferências acumuladas de C-CO₂ com adubação convencional (5,3 t ha⁻¹ na sucessão de culturas), corresponderam a 95%, 93%, 88%, 85% e a 79% das medidas em RSU, Ch, Ldep-P, Ldep e RSU-P, respetivamente. Para as maiores emissões com a incorporação de resíduos orgânicos terá contribuído, essencialmente, o aumento na disponibilidade de carbono para os microrganismos, e para a diferença de resultados entre os mesmos, aspetos como o diferente grau de estabilização da matéria orgânica presente em cada um deles, a presença ou não de água, e/ou o maior ou menor contacto estabelecido com o solo.

No cômputo dos dois anos ficou bem patente a relação positiva que se estabeleceu entre temperatura do ar ou do solo e fluxos de CH₄, independentemente de se ter ou não aplicado azoto ao solo. Contrariamente ao observado em estudos realizados em sistemas agrícolas mais próximos do considerado neste trabalho, mas estabelecidos noutros condicionalismos (ex: Rochette e Côté, 2000), as perdas de C-CH₄ acumuladas em todos os tratamentos foram sempre positivas. Tais perdas foram diferentes nos dois anos (*P* < 0,001), tendo sido superiores no Ano II. Como verificado noutros ensaios (ex: Meijide et al., 2010), a aplicação ao solo de resíduos orgânicos não resultou num efeito negativo sobre o potencial de oxidação do CH₄ pelo solo. Na generalidade dos tratamentos com incorporação de resíduos observaram-se, à sucessão de culturas, emissões médias de C-CH₄ semelhantes, ou

mesmo ligeiramente inferiores, às verificadas no Controlo (30 kg ha⁻¹), e 10 a 20% abaixo das medidas em Adtrad (32 kg ha⁻¹). A disponibilidade de C lábil proporcionada pela adição de resíduos, e a ausência de condições fortes de anaerobiose, terão favorecido a atividade da comunidade metanotrófica e/ou sido desfavoráveis à da população metanogénica, resultando perdas inferiores de CH₄. A única exceção parece poder surgir com a aplicação repartida de compostado (RSU), que originou transferências semelhantes às do Controlo. As maiores reduções de perdas de C-CH₄ à sucessão de culturas, em relação ao registado com a adubação convencional (menos 5 a 6 kg C ha⁻¹), ou mesmo em relação ao tratamento sem fertilização (menos 3 a 4 kg C ha⁻¹), foram medidas com a aplicação de lamas de depuração. Para tal resultado terá contribuído, essencialmente, a presença carbono lábil no resíduo mas, possivelmente, também a simultaneidade da existência de azoto em formas minerais em quantidades apreciáveis (3 a 5% de Ntotal na matéria seca).

Considerando as quantidades de C incorporadas no solo através da aplicação de resíduos orgânicos (Tabela 1) e as perdas acumuladas de C (C-CO₂ + C-CH₄) à sucessão de culturas (Tabela 2), verificou-se haver maiores diferenças entre tratamentos, relativamente à percentagem de C aplicado emitido para a atmosfera (PAC), no Ano I (com precipitação elevada no outono e elevados valores de temperatura no verão). Neste ano, cerca de 100% e de 70% do C aplicado em Ldep e RSU-P, respetivamente, foi emitido. Perante os resultados observados parece poder deduzir-se que, em termos de prevenir menores emissões de C para a atmosfera, será mais favorável proceder à aplicação ao solo de lamas de depuração somente à instalação da cultura de primavera-verão, enquanto a de compostado de RSU deveria ocorrer de forma repartida, ao outono e à primavera.

Tabela 2 - Perda acumulada de C (C-CO₂ + C-CH₄) (PAC), Percentagem de carbono orgânico aplicado emitido (PACAE) e Perda de C por kg de matéria seca produzida (PCMS), na sucessão de culturas.

Tratamento	Ano I			Ano II		
	PAC (t ha ⁻¹)	PACAE (%)	PCMS (g C kg MS ha ⁻¹)	PAC (t ha ⁻¹)	PACAE (%)	PCMS (g C kg MS ha ⁻¹)
Adtrad	5,28 ± 0,13	---	260 ± 4	4,52 ± 0,33	---	142 ± 20
Ch	5,75 ± 0,34	27	307 ± 10	5,10 ± 0,54	59	194 ± 19
Controlo	4,83 ± 0,20	---	392 ± 45	3,77 ± 0,09	---	229 ± 15
Ldep	6,27 ± 0,30	108	419 ± 81	4,90 ± 0,11	41	175 ± 14
Ldep-P	6,05 ± 0,63	55	267 ± 24	5,26 ± 0,70	49	184 ± 11
RSU	5,60 ± 0,72	21	496 ± 68	4,72 ± 0,63	54	166 ± 17
RSU-P	6,68 ± 0,56	69	457 ± 18	5,32 ± 0,77	85	242 ± 46

O conhecimento das emissões de C por unidade de matéria seca produzida (PCMS) permite avaliar a eficiência de diferentes sistemas de fertilização relativamente a perdas deste nutriente a partir do solo, podendo por isso ser utilizado para selecionar a conveniência da adoção de determinada prática num determinado sistema de agricultura (Meijide *et al.*, 2010). Em termos de sucessão de culturas, as emissões variaram entre 142 e 496 g C kg⁻¹ MS (Tabela 2). Ponderando os resultados dos dois anos de ensaio, os valores mais altos (> 300 g C kg⁻¹ MS) foram observados em RSU-P e Controlo, e os mais baixos (< 225 g C kg⁻¹ MS) em Adtrad e Ldep-P. Tendo-se registado produções mais elevadas com a utilização de adubos convencionais do que com a não fertilização (resultados não apresentados), e não tendo havido entre ambos tratamentos diferenças substanciais em relação às emissões de C, torna-se compreensível que as perdas de C por kg de matéria seca produzida tenham sido inferiores no primeiro tratamento. Na média dos dois anos, o valor ponderado medido à sucessão de culturas em Adtrad correspondeu a 62% do registado no Controlo (191 e 308 g kg⁻¹, respetivamente). De um modo geral, os valores de emissão de C por unidade de MS produzida foram inferiores com maior utilização de adubos minerais, do que com a incorporação de resíduos orgânicos. Dos resíduos orgânicos utilizados, foi com as lamas de depuração, quando aplicadas através de uma única aplicação à Primavera, que menores perdas de C por unidade de MS se verificaram, ou seja, que melhores eficiências, em termos de emissões de C, se conseguiram.

CONCLUSÕES

A utilização de adubos minerais azotados não conduziu a aumentos nas emissões de CO₂, e uma eventual inibição da oxidação de CH₄ terá tendência a suceder em anos com temperaturas mais elevadas. De um modo geral, a aplicação de resíduos orgânicos ao solo provocou um aumento das emissões de CO₂ para a atmosfera, mas melhorou o potencial de oxidação do CH₄ pelo solo. A aplicação de todo o compostado de resíduos sólidos urbanos à Primavera mostrou ser uma forma de gestão da utilização agrícola do resíduo a preferir, em termos de perdas de C pelo solo, devido às maiores emissões de CO₂ que originou comparativamente ao verificado quando a incorporação do resíduo foi repartida pela Primavera e Outono. Em contrapartida, em relação às lamas de depuração, será de privilegiar a sua utilização só à cultura de regadio de Primavera, opção que se verificou poder contribuir para um aumento do potencial de sequestro de C. Atendendo ao índice perdas de C por kg de matéria seca produzida observou-se que houve, de um modo geral, maior eficiência produtiva com a utilização de adubos minerais, tendo-se constatado que a prática da adubação azotada tradicional tenderá a contribuir mais para o aumento do teor de C no solo do que a não fertilização. Aconselha-se que a utilização de compostado de resíduos sólidos urbanos na fertilização de culturas ocorra em simultâneo com o uso de adubos minerais azotados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA/FCT-UNL. Relatório do Estado do Ambiente 2006. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE e FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA. Agência Portuguesa do Ambiente Ed., 2007. ISBN 000-000-0000-00-0.
- FANGUEIRO, D., RIBEIRO, H., COUTINHO, J., CARDENAS, L., TRINDADE, H., CUNHA-QUEDA, C., VASCONCELOS, E., e CABRAL, F. - Nitrogen mineralization and CO₂ and N₂O emissions in a sandy soil amended with original or acidified pig slurries or with the relative fractions. *Biol Fert Soils*, DOI: 10.1007/s00374-010-0444-1, 46 (2010), 383-391.
- HELLER, H., BAR-TAL, A., TAMIR, G., BLOOM, P., VENTEREA, R. T., CHEN, D., ZHANG, Y., CLAPP, C. E. e FINE, P. - Effects of manure and cultivation on carbon dioxide and nitrous oxide emissions from a corn field under Mediterranean conditions. *J Environ Qual*, DOI: 10.2134/jeq2009.0027, 39 (2010), 437-448.
- IOVIENO, P., MORRA, L., LEONE, A., PAGANO, L. e ALFANI, A. - Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils. *Biol Fert Soils*, DOI: 10.1007/s00374-009-0365-z, 45 (2009), 555-561.
- JARECKI, M., PARKIN, T. B., CHAN, A. S. K., HATFIELD, J. L. e JONES, R. - Greenhouse gas emissions from two soils receiving nitrogen fertilizer and swine manure slurry. *J Environ Qual*, DOI: 10.2134/jeq2007.0427, 37 (2008), 1432-1438.
- MEIJIDE, A., CÁRDENAS, L.M., SÁNCHEZ-MARTÍN, L., e VALLEJO, A. - Carbon dioxide and methane fluxes from a barley field amended with organic fertilizers under Mediterranean climatic conditions. *Plant Soil*, DOI: 10.1007/s11104-009-0114-y, 328 (2010), 353-367.
- NIEDER, R. e BENBI, D. K. - Carbon and nitrogen in the terrestrial environment. Springer Ed., 2008. ISBN 978-1-4020-8432-4.
- RASTOGI, M., SINGH, S. e PATHAK, H. - Emission of carbon dioxide from soil. *Curr Sci*, 82 (2002), 510-517.
- ROCHETTE, P. e CÔTÉ, D. - CH₄ fluxes and soil CH₄ concentration following application of pig slurry for the 19th consecutive year. *Can J Soil Sci*, 80 (2000), 387-390.
- STOCKMANN, U., et al – The known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agr Ecosyst Environ*, DOI: 10.1016/j.agee.2012.10.001, 164 (2013), 80-90.
- WANG, H., CURTIN, D., JAME, Y. W., MCCONKEY, B. G. e ZHOU, H. F. - Simulation of soil carbon dioxide flux during plant residue decomposition. *Soil Sci Soc Am J*, DOI: 10.2136/sssaj2002.1304, 66 (2002), 1304-1310.