

# EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NUM SOLO AGRÍCOLA SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE FERTILIZAÇÃO

## CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM AN ARABLE SOIL UNDER DIFFERENT SYSTEMS OF FERTILIZATION

João Paulo Carneiro<sup>1,3</sup>, João Coutinho<sup>2</sup>, Henrique Trindade<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CERNAS - Centro de Estudos de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade, Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Castelo Branco, Qtª. Sra de Mércules, Ap. 119, 6001-909 Castelo Branco, Portugal. [jpc@ipcb.pt](mailto:jpc@ipcb.pt)

<sup>2</sup> Centro de Química. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5001-801 Vila Real, Portugal. [j\\_coutin@utad.pt](mailto:j_coutin@utad.pt)

<sup>3</sup> CITAB – *Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas*, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Ap. 1013, 5001-801 Vila Real, Portugal. [htrindad@utad.pt](mailto:htrindad@utad.pt)

### Resumo

O solo pode actuar como destino ou fonte de carbono atmosférico, nomeadamente na forma de CO<sub>2</sub>. Entre Maio de 2006 e Maio de 2008, foram avaliadas na região de Castelo Branco, Portugal, as emissões de CO<sub>2</sub> quando se aplicaram ao solo adubos minerais azotados e/ou diferentes resíduos orgânicos, numa sucessão de culturas milho-aveia, para produção de forragem. O campo foi dividido talhões de 45m<sup>2</sup> (5,6mx8m) e foram consideradas 3 repetições. Os tratamentos estabelecidos foram: adubação tradicional (Adtrad), incorporação de composto de resíduos sólidos urbanos (RSU), aplicação de chorume de bovinos (Ch) e aplicação de lamas de depuração urbanas (Ldep). Considerou-se ainda um tratamento sem fertilização (Controlo). O total de azoto doseado foi igual em todos os tratamentos com fertilização (aveia 80 Kg N ha<sup>-1</sup>; milho 170 kg N ha<sup>-1</sup>). A evolução das emissões de C-CO<sub>2</sub> foi próxima nos diversos tratamentos e o fluxo mais elevado (76 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) foi medido em Ldep. Não se registaram diferenças significativas entre Controlo e Adtrad e as maiores perdas ocorreram em Ldep (até 2,8 e 4,8 t C ha<sup>-1</sup>, no período de Primavera-Verão e de Outono-Inverno, respectivamente). Contudo, o maior potencial de sequestro de C no solo foi também observado em Ldep.

Palavras chave: chorume de bovinos, fertilização azotada, lamas de depuração urbanas, resíduos sólidos urbanos, sequestro de carbono

### Abstract

The soil can act as a sink or a source of atmospheric carbon, particularly in the CO<sub>2</sub> form. A field experiment was carried out from May 2006 to May 2008, in central Portugal (Castelo Branco), to evaluate CO<sub>2</sub> emissions when mineral nitrogen fertilizer or different organic residues were applied to the soil, to a double-cropping system producing oats and maize forage. The field was divided in plots of 45m<sup>2</sup> (5,6mx8m), and the experimental design was a *randomized complete block design*, with 3 replications. The 5 treatments established were: mineral N fertilizer (MIN), application of sewage sludge (SS), urban waste compost (UWC) and cattle slurry (CS). A treatment without fertilization (Control) was included. Total N input was equal for all fertilizing treatments (oat 80 kg N ha<sup>-1</sup>; maize 170 kg N ha<sup>-1</sup>). The evolution of the C-CO<sub>2</sub> fluxes was similar in the different treatments and the higher flow (76 kg C ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) was measured in SS. There were no significant differences between Control and MIN C-CO<sub>2</sub> accumulated losses; the higher value was measured in SS (up 2.8 and 4.8 t C ha<sup>-1</sup> during the spring-summer and autumn-winter period, respectively). The greatest potential for soil C sequestration was observed in SS.

Keywords: cattle slurry, nitrogen fertilization, urban sewage sludge, urban waste compost, carbon sequestration

## Introdução

A concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera aumentou cerca de 85 ppm nos últimos 100 anos (Lal, 2004) e consequências desse acréscimo têm sido documentadas (ex: Robinson et al., 2007). As preocupações suscitadas por este facto têm feito aumentar o esforço desenvolvido na investigação do potencial da terra arável para o sequestro de carbono. O solo pode actuar como destino ou fonte de carbono atmosférico, nomeadamente na forma de CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> fixado através da fotossíntese pode ser armazenado no solo na forma de carbono orgânico, através da conversão de resíduos de plantas em matéria orgânica do solo após a sua incorporação. Por outro lado, o gás é emitido pelo solo em resultado da respiração que nele ocorre, que inclui a respiração microbiana, a respiração radicular e a respiração de fauna.

A informação disponível sobre o efeito da fertilização azotada nas emissões *in situ* de CO<sub>2</sub> em ecossistemas agrícolas é escassa (Wilson e Al-Kaisi, 2008), nomeadamente para condições mediterrânicas. Em estudos efectuados noutros condicionamentos foi verificado que factores como a textura, temperatura, humidade, pH, disponibilidade de C lábil e teor de N mineral do solo, influenciam a produção e emissão de CO<sub>2</sub> (Rastogi et al., 2002; Reth, et al., 2005). A adição de adubos minerais azotados ao solo, pela influência que podem exercer no desenvolvimento das plantas ou na actividade e população de comunidades microbianas, pode suscitar alterações nas emissões de CO<sub>2</sub> a partir dos solos. Estas alterações podem ser no sentido de haver um aumento (Wilson e Al-Kaisi, 2008) ou um decréscimo (Bowden et al., 2000) das mesmas. No entanto, pela quantidade ou tipo de adubos utilizados, ou por outras condicionantes inerentes a cada estudo realizado, também são feitas referências a quase nulos, ou mesmo a nulos efeitos deste tipo de fertilização sobre as emissões de CO<sub>2</sub> (Iovieno et al., 2009). Com a incorporação de resíduos orgânicos têm sido registados, sobretudo, aumentos nas emissões de CO<sub>2</sub> (Fangueiro et al., 2007; Jarecki, et al., 2008), mesmo em condições mediterrânicas (Heller et al., 2010). Acréscimos na respiração do solo nesta situação são normalmente atribuídos ao aumento da disponibilidade de carbono orgânico solúvel.

A fertilização azotada com recurso a adubos minerais ou a resíduos orgânicos tem a capacidade de afectar as emissões de CO<sub>2</sub> a partir do solo, que importa conhecer. O objectivo deste trabalho foi o de quantificar emissões de CO<sub>2</sub> numa sucessão de culturas milho x aveia, durante dois anos, quando estas culturas foram sujeitas a diferentes sistemas de fertilização que incluíram a aplicação de adubos minerais azotados, compostado de resíduos sólidos

urbanos, lamas de depuração urbanas e chorume de bovinos.

## 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<sup>-1</sup> de matéria orgânica (digestão sem aquecimento externo do C-orgânico com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> e titulação com FeSO<sub>4</sub>), 6,1 pH (H<sub>2</sub>O) (razão solo/água de 1/2,5, p/p), 265 e 293 mg kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (Egner-Riehm). O estudo realizou-se 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 chorume de origem bovina (Ch), o compostado de resíduos sólidos urbanos (RSU) e lamas de depuração urbanas (Ldep). 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<sup>-1</sup> na cultura de aveia e na do milho, respectivamente. Na aveia os resíduos foram aplicados numa quantidade capaz de dosear todo o azoto a dispensar à cultura (80 kg N ha<sup>-1</sup>). No milho, à excepção 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<sup>-1</sup> através de resíduos, 80 kg N ha<sup>-1</sup> 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 (nitrolusal 20,5%) foi de 30 e 50 kg N ha<sup>-1</sup> e de 90 e 80 kg N ha<sup>-1</sup>, na cultura da aveia e milho, respectivamente. Em todas as culturas os resíduos foram incorporados nos respectivos talhões imediatamente antes da sua sementeira.

Os 5 tratamentos foram distribuídos aleatoriamente em cada um dos três blocos em que o campo foi dividido, em talhões com 45 m<sup>2</sup> (5,6 m x 8,0 m). As práticas culturais adoptadas foram as normalmente praticadas pelos agricultores e o sistema de rega usado na cultura de Primavera-Verão foi o de aspersão

### Condições climáticas

Registaram-se diferenças importantes nas condições climáticas durante os dois anos de ensaio. O Inverno 2007/2008 foi bastante seco, enquanto o Outono de 2006 foi considerado para Portugal Continental como o terceiro mais chuvoso desde 1931 (APA/MAOTDR, 2007). Durante o Verão de 2006, 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/MAOTDR, 2007). Já durante o Verão de 2007, mediram-se temperaturas inferiores ao normalmente registado nesta época.

Tabela 1 - Quantidade de resíduo (QR) e de carbono (QC) incorporada no solo às culturas. Os valores de quantidade de resíduo são referidos à matéria fresca e estão expressos em  $t\ ha^{-1}$ , excepto para o chorume, referidos em  $m^3\ ha^{-1}$ . QC está expressa em  $kg\ ha^{-1}$ .

	Milho		Aveia		Sucessão	
	QR	QC	QR	QC	QR	QC
2006/2007						
Ch	189	1258	31	659	220	1917
Ldep	11	3150	10	2624	21	5774
RSU	6	1736	5	1334	11	3069
2007/2008						
Ch	55	1530	31	729	86	2259
Ldep	11	3260	10	2838	21	6097
RSU	6	1858	5	1499	11	3357

### Avaliação das emissões de CO<sub>2</sub>

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, excepto quando da realização de medições. Durante o ensaio foram efectuadas 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 CO<sub>2</sub> foram determinadas usando um analisador de gases foto-acústico de infravermelhos - monitor multigas foto-acústico Innova 1314 -, tendo as concentrações sido corrigidas pelo analisador para uma temperatura de 20°C. Foram feitas amostragens ao fecho das câmaras (t<sub>0</sub>) e uma hora depois (t<sub>1</sub>), tendo os fluxos de CO<sub>2</sub> sido calculados com base nas diferenças de concentração entre t<sub>1</sub> e t<sub>0</sub>. 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; Meijide et al., 2010). A percentagem de carbono orgânico aplicado emitido na forma

de C-CO<sub>2</sub> (PPC), foi calculada através da expressão

$$PPC (\%) = \frac{(C - CO_{2\ fert} - C - CO_{2\ controla})}{Caplicado_{fert}} \times 100$$

em que  $Caplicado_{fert}$  corresponde à quantidade de C aplicado ao solo através do fertilizante, e  $C - CO_{2\ fert}$  e  $C - CO_{2\ controla}$  representam, respectivamente, a quantidade de C-CO<sub>2</sub> emitida quando se incorporou resíduo orgânico no solo e a emitida na ausência de qualquer fertilização (Fangueiro et al., 2010).

### Resultados

Durante o ensaio houve uma evolução das emissões de C-CO<sub>2</sub> relativamente próxima em todos os tratamentos e foi com valores de temperatura do ar e do solo mais elevados, que se mediram fluxos de CO<sub>2</sub> mais expressivos (Figura 1).

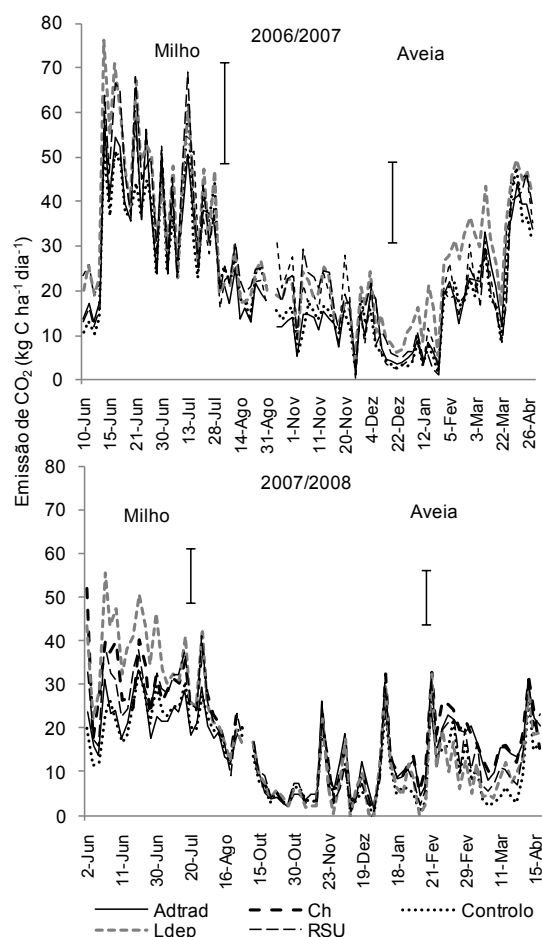


Fig. 1 - Evolução dos fluxos de C-CO<sub>2</sub> nos diferentes sistemas de fertilização, durante o desenvolvimento do milho e da aveia, em 2006/2007 e 2007/2008. As barras verticais representam o erro padrão máximo da média (n=6) observado em cada uma das culturas.

Os fluxos mais elevados aconteceram na Primavera-Verão de 2006, durante os primeiros 15 dias que se seguiram à incorporação dos fertilizantes. O mais elevado de todo o ensaio ( $76 \pm 11 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) foi medido em 14/6/06, no tratamento Ldep.

Durante o período de Primavera-Verão os fluxos de  $\text{CO}_2$  no Controlo e Adtrad variaram, respectivamente, entre  $11$  e  $52 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e  $13$  e  $61 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em 2006, e entre  $11$  e  $34 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , em ambos tratamentos, em 2007. No período de Outono-Inverno as emissões foram igualmente próximas no Controlo e em Adtrad, tendo variado entre  $1$  e  $45 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em 2006/2007 e de  $0$  a  $30 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em 2007/2008. Entre Agosto e Março, em nenhum dos anos e tratamentos a emissão diária de  $\text{CO}_2$  ultrapassou os  $40 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

As perdas acumuladas de C- $\text{CO}_2$  (Tabela 2) no período de Outono-Inverno, ou mesmo na sucessão de culturas, foram diferentes nos dois anos ( $P < 0,001$ ), tendo sido superiores durante 2006/2007.

Tabela 2 - Perdas de C- $\text{CO}_2$  acumuladas nos diferentes sistemas de fertilização, durante o desenvolvimento das culturas. Para cada resultado indica-se o erro padrão da média ( $n=6$ ). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ), de acordo com o teste de Duncan.

	Milho	Aveia	Sucessão
	2006/2007		
Adtrad	$2,4 \pm 0,1$	$3,6 \pm 0,1 \text{ b}$	$6,0 \pm 0,1 \text{ b}$
Ch	$2,6 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,3 \text{ b}$	$6,4 \pm 0,2 \text{ b}$
Controlo	$2,5 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,2 \text{ b}$	$5,9 \pm 0,4 \text{ b}$
Ldep	$2,8 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,4 \text{ a}$	$7,6 \pm 0,4 \text{ a}$
RSU	$2,7 \pm 0,2$	$3,7 \pm 0,4 \text{ b}$	$6,4 \pm 0,5 \text{ b}$
<i>P</i>	0,307	< 0,05	< 0,05
	2007/2008		
Adtrad	$1,9 \pm 0,1 \text{ c}$	$2,6 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,3$ ab
Ch	$2,5 \pm 0,1 \text{ ab}$	$2,6 \pm 0,4$	$5,1 \pm 0,4 \text{ a}$
Controlo	$2,0 \pm 0,1 \text{ c}$	$1,8 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,2 \text{ b}$
Ldep	$2,8 \pm 0,1 \text{ a}$	$2,1 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,1 \text{ a}$
RSU	$2,4 \pm 0,2 \text{ b}$	$2,3 \pm 0,4$	$4,7 \pm 0,5$ ab
<i>P</i>	< 0,001	0,293	< 0,05
Sucessão:	Ano: $P < 0,001$		
	Sistema de fertilização: $P < 0,001$		
	Ano x Sistema de fertilização: $P = 0,133$		
	Blocos (repetições): $P < 0,01$		

Nas culturas realizadas, ou na sua sucessão, não se registaram diferenças significativas entre a não fertilização e a adubação tradicional, tendo as emissões totais de C- $\text{CO}_2$  variado entre  $2$  e  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  durante o período de Primavera-Verão, e de  $1,8$  a  $3,6 \text{ t ha}^{-1}$  no de Outono-Inverno. As maiores transferências acabaram por se verificar quando se incorporaram lamas de depuração (Ldep), tendo-se chegado a medir neste tratamento

perdas de C- $\text{CO}_2$  até  $2,8$  e  $4,8 \text{ t ha}^{-1}$ , no período de Primavera-Verão e de Outono-Inverno, respectivamente.

Considerando as quantidades de C incorporadas no solo através da aplicação de resíduos orgânicos e as perdas de C- $\text{CO}_2$  acumuladas aparentes medidas nesses tratamentos (Tabela 3), verificou-se que foi com o chorume que maiores perdas percentuais de C aplicado ocorreram. Nos dois anos de medições, 43% do C aplicado anualmente em Ch foi emitido na forma de  $\text{CO}_2$ , enquanto com a aplicação dos outros resíduos esse valor foi próximo de 25%.

## Discussão

Os fluxos de C- $\text{CO}_2$  apresentaram maiores oscilações no período de Primavera-Verão ( $9$  a  $76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) do que no de Outono-Inverno ( $0$  a  $50 \text{ kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). A sua evolução foi relativamente semelhante nos diversos sistemas de fertilização e, como observado noutros estudos (Reth et al., 2005; Song e Zhang, 2009), as maiores perdas ocorreram quando a temperatura foi mais elevada. No entanto, o facto da determinação do fluxo mais elevado medido durante o ensaio ( $76 \pm 11 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em Ldep) ter ocorrido pouco tempo depois da incorporação dos resíduos (5 dias), e a circunstância de ter havido precipitação ( $10,6 \text{ mm}$ ) no próprio dia de medição, demonstra que, para além da acção da temperatura, a interacção deste parâmetro com outros factores, entre eles a humidade do solo e a disponibilidade de nutrientes resultante da recente aplicação dos resíduos, condicionam a importância das emissões de  $\text{CO}_2$ .

Ainda que a adição de azoto mineral possa afectar as perdas do solo em C- $\text{CO}_2$ , de forma directa através do fornecimento de azoto às culturas e aos microrganismos, e de forma indirecta pela influência que pode haver sobre o valor do pH e, conseqüentemente, sobre a actividade microbiana (Rastogi et al., 2002), contrariando o verificado nalguns estudos (Liu et al., 2007; Sainju et al., 2008) mas à semelhança do observado noutros (Jarecki et al., 2008; Iovieno et al., 2009), verificou-se que as emissões acumuladas de C- $\text{CO}_2$  a partir do solo onde se adubou de forma convencional, não foram significativamente diferentes das medidas com a não fertilização (cerca de  $2$  e  $3 \text{ t C-CO}_2$  em ambos tratamentos, durante a cultura do milho e aveia, respectivamente). Associando tal resultado a uma certamente maior deposição no solo de resíduos de culturas em Adtrad, atendendo às maiores produções de forragem conseguidas neste tratamento ( $57$  e  $33 \text{ t MS ha}^{-1}$  no somatório das quatro culturas efectuadas, nos tratamentos Adtrad e Controlo, respectivamente), constata-se poder a adubação mineral azotada contribuir para um maior sequestro de C no solo, do que a não fertilização das culturas.

Tabela 3 - Perdas de C-CO<sub>2</sub> acumuladas aparentes (PAA; kg ha<sup>-1</sup>) e perdas percentuais de C-CO<sub>2</sub> acumuladas aparentes relativamente ao C aplicado ao solo (PPC; %).

	Milho		Aveia		Sucessão	
	PAA	PPC	PAA	PPC	PAA	PPC
2006/2007						
Ch	76	6,0	439	66,6	515	26,9
Ldep	306	9,7	1447	55,2	1754	30,4
RSU	267	15,4	317	23,8	584	19,0
2007/2008						
Ch	471	30,8	857	117,5	1328	58,8
Ldep	799	24,5	333	11,7	1132	18,6
RSU	397	21,4	551	36,4	948	28,2

Ainda que de forma não tão evidente como o observado noutras circunstâncias (Jarecki et al., 2008; Iovieno et al., 2009; Heller et al., 2010), a aplicação ao solo de resíduos orgânicos resultou numa tendência para um aumento de emissões de C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Na média dos dois anos, as transferências acumuladas de C-CO<sub>2</sub> com adubação convencional (5,3 t ha<sup>-1</sup> na sucessão de culturas), corresponderam a cerca de 95, 90 e 85% das medidas com a aplicação de compostado de resíduos sólidos urbanos, chorume ou de lamas de depuração. Para o ligeiro acréscimo das emissões com a incorporação de resíduos terá contribuído, essencialmente, o aumento na disponibilidade de carbono para os microrganismos, e para a diferença de resultados entre os mesmos, aspectos 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. Ainda a propósito das emissões de C-CO<sub>2</sub> com a incorporação de resíduos orgânicos, convém também reter o facto de a origem da maior parte dessas transferências para a atmosfera, terem sido produzidas a partir de C não adicionado ao solo. Efectivamente, a emissão média anual de C-CO<sub>2</sub> no Controlo (4,8 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), ou mesmo onde só foram aplicados adubos minerais (5,3 t C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), correspondeu a bem mais de 50% do valor medido em qualquer um dos tratamentos com adição de resíduos orgânicos.

Através da aplicação de resíduos orgânicos ao solo, e para uma mesma quantidade de azoto aplicado, foi com a utilização de lamas de depuração que se terá conseguido o maior acréscimo no teor em carbono no solo. Na média dos dois anos de medições, 25% do C veiculado pelo resíduo (cerca de 6 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) foi emitido para a atmosfera em resultado da respiração do solo. Com o compostado obteve-se um valor percentual semelhante (24%) mas, com este resíduo, a quantidade de carbono média anual incorporada foi cerca de metade (3213 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Com o chorume, para além de se ter veiculado menos carbono (perto de 2 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a percentagem de nutriente emitida para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> foi

substancialmente mais elevada (44%). Para esta diferença terão contribuído características do resíduo líquido, como por exemplo uma maior disponibilização inicial de N em formas minerais (Carneiro, 2007), susceptíveis de fomentar uma maior/mais intensa actividade microbiana no solo.

## Conclusões

Independentemente de se ter ou não aplicado azoto mineral ao solo, a evolução dos fluxos de CO<sub>2</sub> esteve relacionada de forma acentuada com a temperatura, tendo as mais baixas transferências para a atmosfera sido tendencialmente medidas entre Novembro e finais de Janeiro, quando as temperaturas foram mais baixas. Ainda que de forma pouco clara, também ficou patente que aspectos como a ocorrência ou não de precipitação/rega e o teor de azoto mineral presente no solo influenciaram os fluxos de C, nomeadamente no ano de temperaturas mais elevadas durante o Verão e de menor precipitação no Outono.

A utilização de adubos minerais azotados não conduziu a aumentos nas emissões de CO<sub>2</sub>, enquanto a incorporação no solo de resíduos orgânicos, de um modo geral, deu origem a um aumento das mesmas. A disponibilidade de C lábil proporcionada pelos resíduos terá permitido um aumento da actividade microbiana com consequente aumento na produção de CO<sub>2</sub>. Foi com a aplicação de lamas de depuração que maiores emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera ocorreram mas, foi também com a utilização deste resíduo que se identificou um maior potencial de sequestro de C no solo.

## Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente suportado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (SFRH/BD/29808/2006) e pelo Fundo Social Europeu (FSE) no âmbito do Programa Operacional Potencial Humano (POPH) do QREN.

## Referências Bibliográficas

- APA/MAOTDR. 2007. Relatório do Estado do Ambiente 2006. Agência Portuguesa do Ambiente, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Bowden, R. D., Rullo, G., Stevens, G.R. 2000. Soil fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane at a productive temperate deciduous forest. *J Environ Qual*, 29, 268-276.
- Carneiro, J.P., Branco, S., Coutinho, J., Trindade, H. 2007. Mineralização de azoto de diferentes resíduos orgânicos em incubação laboratorial de longa duração. *Revista de Ciências Agrárias*, 30, 159-173.

- Fangueiro, D., Chadwick, D., Dixon, L., Bol, R. 2007. Quantification of priming and CO<sub>2</sub> emission sources following the application of different slurry particle size fractions to a grassland soil. *Soil Biol Biochem*, 39, 2608-2620.
- Fangueiro, D., Ribeiro, H., Coutinho, J., Cardenas, L., Trindade, H., Cunha-Queda, C., Vasconcelos, E., Cabral, F. 2010. Nitrogen mineralization and CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in a sandy soil amended with original or acidified pig slurries or with the relative fractions. *Biol Fert Soils*, 46, 383-391.
- Heller, H., Bar-Tal, A., Tamir, G., Bloom, P., Venterea, R. T., Chen, D., Zhang, Y., Clapp, C. E., Fine, P. 2010. Effects of manure and cultivation on carbon dioxide and nitrous oxide emissions from a corn field under mediterranean conditions. *J Environ Qual*, 39, 437-448.
- Iovieno, P., Morra, L., Leone, A., Pagano, L., Alfani, A. 2009. Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils. *Biol Fert Soils*, 45, 555-561.
- Jarecki, M., Parkin, T.B., Chan, A.S.K., Hatfield, J.L., Jones, R. 2008. Greenhouse gas emissions from two soils receiving nitrogen fertilizer and swine manure slurry. *J Environ Qual*, 37, 1432-1438.
- Lal, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304, 1623-1627.
- Liu, X.J., Mosier, A.R., Halvorson, A.D., Reule, C. A., Zhang, F.S. 2007. Dinitrogen and N<sub>2</sub>O emissions in arable soils: effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biol Biochem*, 39, 2362-2370.
- Mejjide, A., Cárdenas, L.M., Sánchez-Martín, L., Vallejo, A. 2010. Carbon dioxide and methane fluxes from a barley field amended with organic fertilizers under Mediterranean climatic conditions. *Plant Soil*, 328, 353-367.
- Rastogi, M., Singh, S., Pathak, H. 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science*, 82: 510-517.
- Reth, S., Reichstein, M., Falge, E. 2005. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO<sub>2</sub> efflux - A modified model. *Plant Soil*, 268, 21-33.
- Robinson, A.B., Robinson, N.E., Soon, W. 2007. Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide. *Journal American Physicians and Surgeons*. 12, 79-90.
- Sainju, U.M., Jabro, J.D., Stevens, W.B. 2008. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. *J Environ Qual*, 37, 98-106.
- Song, C., Zhang, J. 2009. Effects of soil moisture, temperature, and nitrogen fertilization on soil respiration and nitrous oxide emission during maize growth period in northeast China. *Soil Plant Sci*, 59, 97-106.
- Wang, H., Curtin, D., Jame, Y.W., McConkey, B.G., Zhou, H.F. 2002. Simulation of soil carbon dioxide flux during plant residue decomposition. *Soil Sci Soc Am J*, 66, 1304-1310.
- Wilson, H.M., Al-Kaisi, M.M. 2008. Crop rotation and nitrogen fertilization effect on soil CO<sub>2</sub> emissions in central Iowa. *Appl Soil Ecol*, 39, 264-270.