

EMISSÃO DE C-CO₂ EM SOLOS DE REGIÃO DE CLIMA TROPICAL E SUBTROPICAL: UM ENSAIO DE INCUBAÇÃO POR LONGO PERÍODO

Juliane Zuffo dos Santos, João Carlos de Moraes Sá, Clever Briedis, Daiani Hartman, Rafael Schimiguel

Universidade Estadual de Ponta Grossa <juliane_zuffo@hotmail.com>

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução da respiração do solo e sua relação com o C oxidado visando quantificar o C perdido durante 10 meses de incubação. O experimento foi conduzido em laboratório, com amostras coletadas em experimentos de Ponta Grossa (PG), Londrina (LDN) e Lucas do Rio Verde (LRV). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em fatorial 3x4, com três repetições. Os fatores foram: por três profundidades (0-20, 20-40 e 40-100 cm), e quatro níveis de C (0, 6, 12, 24 Mg ha⁻¹). Cada tratamento foi incubado por dez meses. Em intervalos predeterminados foi feita a determinação da respiração basal do solo. Após o período de incubação, houve uma resposta positiva nas emissões de C-CO₂ devido as adições crescentes de resíduos vegetais, variando de 414 (LRV, camada de 40-100, adição de 0 Mg ha⁻¹) a 6.563 mg kg⁻¹ (PG, camada de 0-20, adição de 24 Mg ha⁻¹). Houve uma relação linear positiva entre o conteúdo de C inicial das amostras com a emissão de C-CO₂. Em todos os locais e camadas houve uma taxa de efluxo de C-CO₂ muito elevada nos primeiros dias de incubação, ocorrendo a estabilização ao longo do tempo. Relacionando o C oxidado com as emissões de C-CO₂ de todos os locais e camadas, encontramos uma relação linear positiva muito forte. Com isso, concluímos que os efluxos totais de C-CO₂ no solo estão diretamente relacionados as adições de resíduos ao sistema e ao conteúdo de COS.

Palavras-Chave: respiração do solo, carbono do solo, adição de resíduos.

C-CO₂ EMISSION IN SOILS OF TROPICAL AND SUBTROPICAL CLIMATES: A TEST BY LONG INCUBATION PERIOD

Abstract - The aim of this study was to evaluate soil respiration and its relationship with C oxidized to quantify the C lost during 10 months of incubation. The experiment was conducted in a laboratory with samples collected in experiments of Ponta Grossa (PG), Londrina (LDN) and Lucas do Rio Verde (LRV). The experimental design was completely randomized in a 3x4 factorial design with three replications. The factors were: three depths (0-20, 20-40 and 40-100 cm), and four levels of C (0, 6, 12, 24 Mg ha⁻¹). Each treatment was incubated for ten months. At predetermined intervals was made to determine the basal soil respiration. After the incubation period, there was a positive response in the C-CO₂ emissions due to increasing additions of plant residues ranging from 414 mg kg⁻¹ (LRV, 40-100 cm layer, addition of 0 Mg ha⁻¹) 6563 mg kg⁻¹ (PG, 0-20 cm layer, addition of 24 Mg ha⁻¹). There was a positive linear relationship between the initial C content of the samples with the C-CO₂ emission. At all locations and layers there was a rate of efflux of C-CO₂ very high in the early days of incubation, stabilization occurs over time. Relating the C oxidized with emissions of C-CO₂ from all sites and layers, we find a very strong positive linear relationship. Thus, we conclude that the total outflows of C-CO₂ in the soil are directly related to residues additions to the system and SOC content.

KeyWord: soil respiration, soil carbon, residues addition.

1. INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação com o aumento da concentração de gases na atmosfera, especialmente aqueles que tem a capacidade de reter parcialmente a radiação solar. O solo pode ser uma importante opção de dreno do carbono da atmosfera e armazenamento temporário.

Os processos microbianos do solo são de fundamental importância para o funcionamento dos sistemas agroecológicos de produção, executando funções diretamente relacionadas com sua produtividade e sustentabilidade, o ecossistema do solo é composto por elementos básicos como os organismos autotróficos, heterotróficos e os saprófitas. A respiração do solo, se dá pelas liberações de gás carbônico para a atmosfera, decorrente de vários processos que ocorrem na serapilheira, superfície e camadas mais profundas do solo.

A atividade biológica do solo participa de vários processos nesse ecossistema, um deles é a decomposição dos resíduos vegetais e mineralização do húmus, e a velocidade de decomposição do material orgânico e a liberação do CO₂ está relacionada às características intrínsecas da própria matéria orgânica. A biomassa microbiana do solo é definida como componente microbiano vivo do solo, sendo a principal responsável pela decomposição de resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo (JENKINSON & LADD, 1981), dentre outros benefícios o aporte de matéria orgânica no solo aumenta a capacidade de retenção de nutrientes e conseqüentemente sua disponibilidade para as plantas.

Os principais fatores envolvidos na taxa de mineralização dos componentes orgânicos são as condições edafoclimáticas e a qualidade dos substratos, todos esses fatores reunidos influenciam no tempo de permanência dos resíduos adicionados ao solo. Nesse contexto, a emissão basal de C-CO₂ será diferente em sistemas de manejo que apresentem distintas adições de resíduos vegetais e estoques de C-solo, determinando que o uso isolado das emissões de C-CO₂ não seja indicador adequado do potencial de sistema de manejo na conservação de C no solo, em comparação com sistemas de maior emissão de C-CO₂ por unidade de C potencialmente disponível para oxidação microbiana. (COSTA et al., 2008).

Quando se adiciona ao solo uma fonte de carbono, estimula-se a respiração microbiana. Contudo, os sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno biológico de C-CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento

global (AMADO et al., 2001; LOVATO et al., 2004; BAYER et al., 2006; ZANATTA et al. 2007; COSTA et al., 2008). Dependendo do manejo aplicado pode ser que ocorra equilíbrio com recuperação e até mesmo acúmulo, o que seria ecologicamente vantajoso, do ponto de vista da diminuição do CO₂ da atmosfera, reduzindo-se o efeito estufa e os impactos da atividade agrícola no ambiente (SIQUEIRA, 1993; LAL et al., 1995).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com solos provenientes de três localidades: Ponta Grossa - PR (PG) (25°09'S - 50°09'W), Latossolo Vermelho Distrófico, clima mesotérmico, verões e invernos úmidos, invernos frios; Londrina - PR (LDN) (23°11'S - 51°11'W) Latossolo Vermelho Eutroférrico, clima Subtropical úmido, com verões quentes; e Lucas do Rio Verde - MT (LRV) (13°00'S - 55°58'W), Latossolo Vermelho-Amarelo, clima Tropical úmido, com verões quentes e muito úmidos, inverno quente e seco. Em Ponta Grossa - PR o experimento foi implantado em 1981.

O experimento foi inteiramente casualizado, ficando disposto em um fatorial 3x4 com três repetições. Os fatores foram: três profundidades (0-20, 20-40 e 40-100 cm), e quatro níveis de adição de C (0, 6, 12, 24 Mg ha⁻¹) via resíduos de aveia.

Cada tratamento foi composto por 40 g de solo, os quais foram alocados em potes de 1 litro. Durante o período de incubação os potes com os tratamentos permaneceram em uma estufa com temperatura controlada a 30 °C o solo foi mantido no nível da capacidade de campo. A respiração do solo foi realizada periodicamente até o período de 10 meses.

A determinação da respiração do solo foi pelo procedimento da captura do CO₂ através de uma solução constituída por uma solução alcalina (NaOH) e posteriormente a quantificação por titulação com ácido (HCl) (JENKINSON & POWLSON, 1976) consistindo na mensuração através da diferença entre o volume de ácido necessário para neutralizar o hidróxido de sódio.

Nos intervalos predeterminados, os recipientes foram abertos e a solução titulada com HCl na presença de indicador ácido/base fenolftaleína. Após a leitura a mesma quantidade de NaOH foi repostada e os recipientes novamente fechados. Foi utilizado também um tratamento controle (sem exposição ao solo) para correção dos resultados dos demais tratamentos avaliados.

Após os 10 meses de incubação todos os resíduos maiores que 2 mm foram retirados e considerados como remanescente.

O conteúdo de COT inicial do solo foi determinado

pele método da combustão seca, utilizando um determinador elementar de C (TruSpec CN LECO® 2006, ST. JOSEPH, EUA).

As relações entre as variáveis foi realizada através regressão linear. O nível de significância do coeficiente de determinação (R²) foi encontrada através do programa JMP IN versão 3.2.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de avaliação de 10 meses de incubação dos solos, com o resíduo de aveia, observaram-se maiores taxas de emissão de CO₂ em função dos maiores aportes de resíduos. Ao final dos 10 meses de incubação, em PG a emissão de C-CO₂ acumulada variou de 2037 a 6563 mg kg⁻¹ na camada de 0-20 cm, de 728 a 5909 mg kg⁻¹ na camada de 20-40 e de 533 a 5612 mg kg⁻¹ na camada de 40-100 (Figura 1a,b,c).

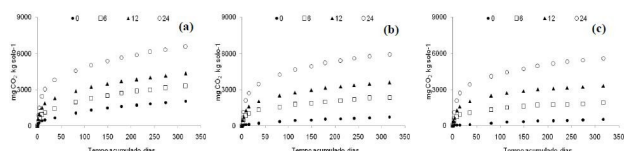


Figura 1 – Relação da emissão de CO₂ por tempo acumulado, no município de Ponta Grossa nas profundidades de (a) 0-20; (b) 20-40; (c) 40-100, em um ensaio de incubação.

Em Londrina a variação foi de 817 a 5944 mg kg⁻¹ na camada de 0-20 cm, de 678 a 5330 mg kg⁻¹ na camada de 20-40 e de 444 a 5259 mg kg⁻¹ na camada de 40-100 (Figura 2a,b,c).

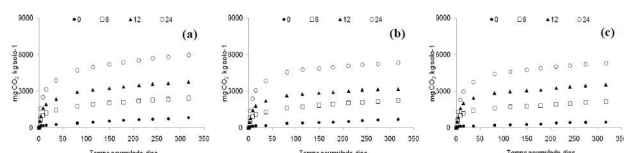


Figura 2 – Relação da emissão de CO₂ por tempo acumulado, no município de Londrina nas profundidades de (a) 0-20; (b) 20-40; (c) 40-100, em um ensaio de incubação.

Já em Lucas do Rio verde, as emissões de C-CO₂ acumuladas em 10 meses de incubação foram de 675 a 5263 mg kg⁻¹ na camada de 0-20 cm, de 663 a 5120 mg kg⁻¹ na camada de 20-40 e de 414 a 5121 mg kg⁻¹ na camada de 40-100 (Figura 3a,b,c).

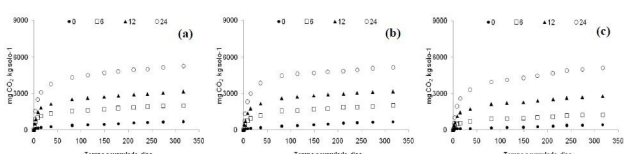


Figura 3 – Relação da emissão de CO₂ por tempo acumulado, no município de Lucas do Rio Verde nas profundidades de (a) 0-20; (b) 20-40; (c) 40-100, em um ensaio de incubação.

Efeitos semelhantes, que demonstram alta relação do C adicionado via resíduos com a taxa de

respiração do solo foi encontrada por Graaff et al. (2010). Os mesmos autores, ressaltaram porém, que apesar de elevadas adições de substrato proporcionar elevadas taxas de respiração, há um consumo maior, nesse caso, do C provindo desse substrato. Porém, quando o substrato é adicionado em pequenas proporções, há um consumo do C existente no solo, causando um elevado efeito *priming*.

Isso demonstra a importância de uma elevada adição de resíduos em sistemas de produção, proporcionando, ao longo do tempo aumento no sequestro de carbono no solo (LOVATO et al., 2004; BAYER et al., 2006; SÁ et al., 2013). Aliado a isso, Drinkwater et al. (1998) e Amado et al. (2001) sugerem que o uso de leguminosas, combinado com maior diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, aumenta de forma significativa a retenção de C no solo, com implicações em escala regional e global e para a produção sustentável e a qualidade ambiental.

As elevadas taxas de emissão de C-CO₂ encontrada em todos os locais pode ser explicada pelas excelentes condições ambientais mantidas durante a incubação. A temperatura e a umidade do solo são parâmetros essenciais para o desenvolvimento da microbiota do solo. Nesse sentido Lourente et al. (2012) constataram maior emissão de C-CO₂ no verão em relação ao inverno, o que foi atribuído a relação existente entre a umidade do solo (mais elevada no verão) e a biomassa do solo, favorecendo a respiração microbiana. Segundo Alexander (1977) a umidade regula a atividade microbiana, devido sua atuação como componente do protoplasma, alterando as trocas gasosas e atuando no transporte e dissolução dos nutrientes do solo. A elevada taxa de respiração pode ser um indicador tanto de distúrbio, como de alto nível de produtividade do ecossistema, devendo ser analisada em cada contexto (ISLAM e WEIL, 2000).

Quando consideramos a mesma constituição da biota do solo, quanto menor a taxa de respiração, mais eficiente seria essa comunidade microbiana. Por outro lado, a elevada taxa de respiração pode ser desejável, uma vez que a decomposição dos resíduos proporcionará oferta de nutrientes às plantas.

A dinâmica de decomposição dos materiais orgânicos aportados no solo parece ter sido influenciada principalmente pela qualidade do material orgânico aplicado, evidenciado pela emissão de CO₂ distintas entre os tratamentos estudados.

Nesse contexto, as menores emissões, de todos os locais e camadas, foram nos tratamentos sem adição de C via resíduos e as maiores emissões foram nos tratamentos com a maior adição (24 Mg

ha⁻¹). Embora as emissões de C-CO₂ represente a perda de carbono para atmosfera, ela representa também a atividade da biomassa microbiana (LAGO et al., 2012), qual atua na transformação de compostos provindos do resíduo. Essa transformação dos resíduos aportados ao sistema provoca, em um curto espaço de tempo, variações em formas mais lábeis de COS, principalmente na camada superficial (local de deposição dos resíduos em PD) (BRIEDIS et al., 2012) e em um período mais longo a adição de resíduos provoca aumento no estoque total de COS (SÁ et al., 2013). Sendo assim, a adição de carbono na forma de resíduo no sistema é fator determinante para a atividade microbiana e para o acúmulo de C no solo.

A maior proteção da matéria orgânica é no interior dos agregados, o menor fracionamento dos resíduos e a menor área de contato do resíduo com o solo, isso faz com que a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo reduza, resultando em maior estoque de C. Outro fator que somam aos diferentes estoques de C orgânico no solo são a adição das culturas e sua relação C/N, os quais irão contribuir distintamente para o potencial de um sistema em emitir C-CO₂ à atmosfera.

Dentre as camadas avaliadas, observaram-se maiores efluxos de C-CO₂ na camada de 0-20 cm. Isso provavelmente devido ao maior conteúdo de carbono nessa camada de solo. Em PD o acúmulo maior de COS é na camada superficial devido o não revolvimento do solo e a manutenção da palhada na superfície (SÁ e LAL, 2009). Essa hipótese foi confirmada pela relação linear positiva entre o conteúdo de C inicial das amostras com a emissão de C-CO₂ ($y=36,8x+2320$; $R^2=0,80^{***}$, $n=9$) (Figura 4). De acordo com Siqueira et al. (1994), a respiração edáfica está diretamente relacionada à decomposição da matéria orgânica e mineralização do húmus.

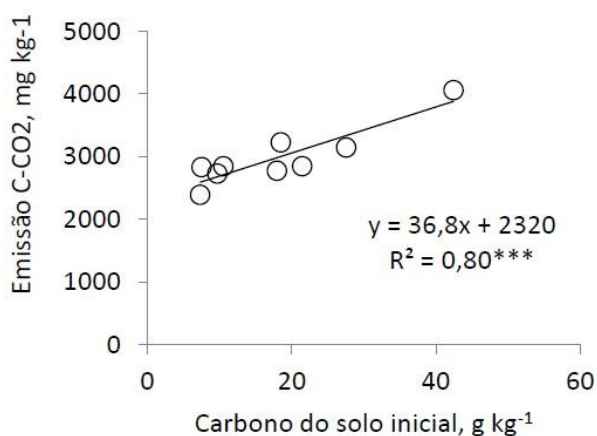


Figura 4 – Relação do carbono inicial (três solos e três profundidades distintas) com a emissão de C-CO₂ em um período de 10 meses de incubação.

Em todos os locais e camadas houve uma taxa de efluxo de C-CO₂ muito elevada nos primeiros dias de incubação, ocorrendo a estabilização ao longo do tempo. Isso demonstrou que por apresentar maior teor de compostos de C lábil disponível, que induziu à maior atividade microbiana inicial, e com o passar do tempo tende a ter em sua composição somente compostos de C mais recalcitrante, isso pode ser atribuída às diferenças na sua composição bioquímica inicial nas condições edafoclimáticas a degradação mais intensa do material orgânico aportado e o aumento da mineralização está diretamente ligada à qualidade do material fornecido. Esse maior efluxo inicial se deve a transformação, pela biomassa microbiana, desses compostos como açúcares, amido e proteínas simples. Com o passar do tempo, esses compostos são consumidos restando os mais recalcitrantes, como gorduras, ligninas e compostos fenólicos, quais são de difícil transformação, diminuindo assim a atividade microbiana e a liberação de C-CO₂. Em estudo recente, Tivet et al. (2013) mostraram que a perda de C lábil é mais sensível do que o C mais recalcitrante.

De todo o C adicionado via resíduo, parte foi convertido como COS, parte permaneceu como C-remanescente e a outra parte foi emitida na forma de C-CO₂. Relacionando o C oxidado (C adicionado – C remanescente) com as emissões de C-CO₂ de todos os locais e camadas encontramos uma relação linear positiva muito forte ($y=0,49x+0,83$; $R^2=0,98^{***}$) (Figura 5). Isso demonstra que 49% do C que foi oxidado foi emitido na forma de C-CO₂.

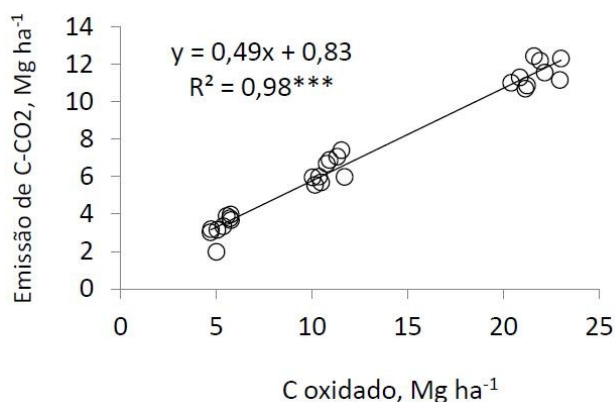


Figura 5 – Relação do C oxidado com C emitido na forma de C-CO₂ em solos de três locais e três profundidades.

4. CONCLUSÕES

Os efluxos totais de C-CO₂ no solo estão diretamente relacionados as adições de resíduos ao sistema e ao conteúdo de COS. As emissões de C-CO₂ no solo são elevadas no início do processo de decomposição e tendem a estabilizar-se com o passar do tempo.

5. AGRADECIMENTOS

A Fundação Agrisus pelo apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2. ed. New York: John Willey & Sons, 1977.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v.86, p. 237-245, 2006.

BRIEDIS C.; SÁ, J.C.M.; DE CARLI, R.S.; ANTUNES, E.A.P.; SIMON, L.; ROMKO, M.L.; ELIAS, L.S.; FERREIRA, A.O. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1483-1490, 2012.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 323-332, 2008.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems and Environment*, v.79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.M. (eds). **Soil biochemistry**, v.5. New York, Marcel Decker, 1981. p.425-417.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v.8, p. 209-213, 1976.

LAGO, W.N.M.; LACERDA, P.C.L.; NEUMANN, M.R.B.

Indicadores de qualidade dos solos na microbacia do Ribeirão Extrema, Distrito Federal: Parte II **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 721-729, 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e textos, 2000. 531p.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 175-187, 2004.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.20-28, 2011.

SÁ, J.C.M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v.103, p.46-56, 2009.

SÁ, J.C.M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P.R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J.B.; HARTMAN, D.C.; BERTOLONI, C.G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by ploughing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of sub-tropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, 2013. Accepted Article. doi: 10.1002/ldr.2218.

SIQUEIRA SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F.M.S., GRISI, B.M., HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Embrapa, Brasília, 1994. p.142.

SIQUEIRA, J.O. **Biologia do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 230p.

TIVET, F.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; BORSZOWSKI, P.R.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J.B.; SÁ, M.F.M.; HARTMAN, D.C.; EURICH, G.; FARIAS, A.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Geoderma**, v.210, p. 214-225, 2013.