

VARIAÇÕES DE CURTO PRAZO NAS EMISSÕES DE CO₂ DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO CAFEIEIRO

Alexandre Fonseca D'Andréa

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Rua Ciomara Amaral de Paula, 167, 37550-000 Pouso Alegre - MG, Brasil

Marx Leandro Naves Silva*, **Nilton Curi** e **Diego Antonio França de Freitas**

Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, CP 3037, 37200-000 Lavras – MG, Brasil

Renato Roscoe

Embrapa Agropecuária Oeste, CP 661, 79804-970 Dourados – MS, Brasil

Paulo Tácito Gontijo Guimarães

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, CP 176, 37200-000 Lavras – MG, Brasil

Recebido em 8/10/08; aceito em 23/5/09; publicado na web em 28/10/09

SHORT-TERM VARIATIONS OF SOIL CO₂ EMISSIONS IN COFFEE PLANTATIONS. Soil CO₂ emissions represent an important component of carbon global cycle. However, information about short-term alterations of CO₂ fluxes in soils of tropical regions are scarce. So, the objective of this study was to evaluate such variations in coffee plantations in Latosol (Oxisol). The CO₂ emissions were not affected by environmental abiotic factors, such as temperature and soil water evaporation, but they were significantly correlated with the carbon content of microbial biomass (R=0.90, P<0.05). It happens a close relationship between root activity and soil CO₂ emission in coffee plantations.

Keywords: carbon global cycle; perennial crop; carbonic gas.

INTRODUÇÃO

O armazenamento de carbono no globo terrestre ocorre em quatro compartimentos principais, denominados oceânico, atmosférico, terrestre e geológico, este último representado pela crosta terrestre.¹ À exceção do compartimento geológico, os demais interagem continuamente por meio de transferências mediadas por processos químicos e biológicos, constituindo o que se conhece como o ciclo do carbono.² A maior transferência global do elemento ocorre entre os compartimentos terrestre e atmosférico e, neste fluxo, dos cerca de 120 Pg de C movimentados anualmente (1 Pg = 10¹⁵ g), o solo contribui com a emissão de aproximadamente 60 Pg, produzidos pela oxidação de constituintes orgânicos e pela respiração do sistema radicular das plantas.³

Nos países em desenvolvimento, o fator que mais contribui para a emissão de CO₂ do compartimento terrestre para o atmosférico é o uso da terra.⁴ As emissões de carbono, em 1980, provocadas por alterações no uso da terra, foram de 1,4 Pg (1,3 Pg nos trópicos e 0,1 Pg fora dessa região) e, em 1990, de 1,7 Pg (essencialmente em regiões tropicais).⁵ O entendimento sobre a dinâmica de CO₂ em função de mudanças no uso da terra ainda é considerado insuficiente⁶ e, apesar de fatores como a temperatura e umidade do solo serem tidos como os mais importantes para determinar as emissões de CO₂ do solo,⁷⁻¹⁰ pouco se sabe sobre as alterações de curto prazo em solos tropicais submetidos ao uso agrícola. No Brasil, as informações são escassas, mesmo em culturas de grande importância econômica, como a do café, que representa o maior produto primário de exportação.¹¹ O Brasil produz, atualmente, em torno de 45.992 mil sacas de 60 kg de café beneficiado anuais (previsão para a safra de 2008), com mais de 50% da produção no estado de Minas Gerais,¹² além de ser o segundo principal consumidor mundial do produto. Ainda assim, não existem registros sistemáticos das emissões de CO₂ em solos cultivados com cafés.

Recentemente, o plantio de cafezais em espaçamento adensado tem sido adotado como alternativa para a redução de custos em

função do aumento de produtividade e economia de área, que se torna disponível para cultivos alternativos.^{13,14} No entanto, algumas particularidades estão implícitas na condução de lavouras adensadas de cafés, como as operações de poda, indispensáveis para o restabelecimento da sua capacidade produtiva, quando afetada pelo fechamento das copas e perda de ramos na base da planta.^{14,15}

Uma vez que o desenvolvimento do sistema radicular do café é condicionado não só pelo potencial genético da planta, mas também em função de determinadas condições ambientais,¹⁶ é possível que práticas de manejo que afetem o sistema radicular, como no caso das podas,^{14,17} possam também influenciar as emissões de CO₂ do solo. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de quantificar as variações de curto prazo no fluxo de CO₂ do solo em cafezais adensados e verificar o efeito do manejo diferenciado de podas sobre as emissões deste gás.

PARTE EXPERIMENTAL

Descrição da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no município de Lavras, MG, em área localizada nas coordenadas 21°13'40" de latitude Sul e 44°57'50" de longitude Oeste, a 925 m acima do nível do mar. O clima da região é Cwa na classificação climática de Köppen, com médias anuais para precipitação e temperatura de, respectivamente, 1.530 mm e 19,4 °C.¹⁸

A área em estudo estava localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, num Latossolo Vermelho distroférrico de textura muito argilosa (68% de argila), fase floresta tropical subperenifólia, ocupada com cafés pertencentes ao programa "Melhoramento Genético do Café" (parceria Bioex/CNPq–Conselho Nacional do Café/UFLA/EPAMIG–PROCAFÉ/MMA). Cafés das cultivares Acaiaí Cerrado ("Campo de seleção da cultivar Acaiaí Cerrado") e Rubi ("Ensaio de progênies da cultivar Rubi") foram implantados no campo em parcelas experimentais adjacentes. A área possuía um histórico de uso com culturas anuais (milho e feijão) a partir de 1982 e com cafés a partir de 1986. Em 1995, um talhão antigo com cafés foi eliminado e a área foi preparada para receber os ensaios

*e-mail: marx@ufla.br

de melhoramento genético. As mudas foram plantadas no espaçamento adensado de 2,0 × 0,6 m, com adubação básica de 150 g por metro linear de superfosfato simples, 50 g de cloreto de potássio, 150 g de calcário e 5 L por metro linear de composto orgânico. As adubações de manutenção foram feitas nos anos subsequentes, com quatro aplicações anuais em quantidades que variaram de 40 a 120 g da formulação 20-0-20 por planta de café, de acordo com seu estágio de desenvolvimento. Os tratos culturais nas parcelas foram feitos por meio de capinas manuais e herbicidas e a aplicação de micronutrientes e de produtos químicos fitossanitários, via foliar. Por causa do espaçamento adensado (maior população de plantas em uma área, sendo este valor entre 5.000 e 10.000 plantas por hectare), a superfície do solo estava, muitas vezes, coberta por uma camada de folhas e outros resíduos vegetais.

As diferenças no manejo das parcelas se restringiram, praticamente, à existência ou não de operações de recepagem nas plantas (poda drástica a 40 cm acima da superfície do solo onde se retira o caule da planta visando a renovação de cafeeiros cujas copas estão completamente deformadas, esguias e com poucos ramos laterais partindo do tronco) e ao período em que estas foram realizadas. Em cada parcela, após a remoção total da parte aérea, os galhos maiores eram retirados da área e os resíduos orgânicos compostos por folhas e ramos mais finos distribuídos nas ruas do cafeeiro de maneira a funcionar como cobertura morta, visando a ciclagem de nutrientes para as plantas. A partir das características de condução do cafezal nos talhões, foram definidos os seguintes tratamentos: (A_{R3}) cultivar Acaia Cerrado, com recepagem em agosto de 2003, 75 dias antes das medições do fluxo de gases do solo; (A_{R1}) cultivar Acaia Cerrado, com recepagem em dezembro de 2001; (R_{R2}) cultivar Rubi, com recepagem em dezembro de 2002; (R_{NR}) cultivar Rubi, com plantas não recepadas e de maior desenvolvimento vegetativo (altura média das copas: 1,8 a 2,0 m). As parcelas experimentais mediam 30 x 70 m, exceto a do tratamento R_{R2}, que possuía as dimensões de 30 x 35 m. Para as medições de campo e coleta das amostras de solo, foram desprezadas as linhas de plantio externas e uma faixa limitrofe de 3 m à frente e ao fundo das parcelas, consideradas bordaduras.

Medição do fluxo de gases do solo

Foram feitas medições dos fluxos de CO₂ e vapor d'água do solo nos períodos de 6-8, 9-11, 12-14, 15-17 e 18-20 h (horário de verão do Brasil) do dia 9 de novembro de 2003, com cinco repetições para cada um dos quatro tratamentos analisados. Foi utilizado um analisador de gás por absorção na faixa do infravermelho (IRGA) modelo ADC LCA-4, acoplado a uma campânula cilíndrica de polieteno modelo ADC Soil Hood (ambos fabricados por Analytical Development Company Bioscientific Ltd, Hoddesdon, England). A campânula utilizada possuía área superficial de 98,5 cm² e volume interno de 926 mL, sendo equipada com miniventilador para mistura do ar. O IRGA foi operado no modo diferencial, com fluxo de ar nas tubulações de entrada e saída da campânula de 240 μmol s⁻¹ de CO₂ (302 mL de ar por minuto) mantido por meio de um sistema de bombeamento localizado no interior do aparelho. O equipamento foi previamente calibrado em laboratório com padrões de concentração conhecida dos dois gases.

Nas medições de campo, os resíduos vegetais porventura existentes em cada ponto foram cuidadosamente removidos e a campânula posicionada sobre a superfície do solo, deixando ligeiramente enterrado um alongamento da borda até um ressalto que delimita o volume efetivo da câmara, a fim de melhorar o selamento da interface campânula-solo e evitar perdas ou enriquecimento lateral de CO₂.¹⁹ As leituras dos fluxos de CO₂ do solo foram realizadas na área sob a copa das plantas e na parcela recém-podada (A_{R3}), na posição que representava a área sob a copa das plantas antes da recepagem. Em cada ponto de medição do fluxo de gases, foi registrada a temperatura do

solo a 12 cm de profundidade, com o uso de um termômetro de solo.

As emissões de CO₂ e de vapor d'água do solo foram calculadas por meio da diferença entre a concentração dos gases presentes no ar que entra na campânula e no ar que deixa a mesma, após ter sido atingido um estado de equilíbrio dinâmico.^{20,21} Testes preliminares realizados no campo indicaram que a estabilização das leituras de fluxo de CO₂ no IRGA ocorreu de 60 a 240 s após o posicionamento das campânulas na superfície do solo. Com base nos resultados, foi adotado um tempo de leitura de 3 a 4 min, considerado longo o suficiente para o equilíbrio gasoso no interior da campânula e breve o bastante para evitar interferências microclimáticas significativas em decorrência da presença da campânula.

Coleta e preparo das amostras de solos

As amostras para avaliação da biomassa microbiana foram coletadas no mesmo dia das medições do fluxo de gases, no horário de 12 às 14 h, com cinco repetições por tratamento, na profundidade de 0-10 cm. As amostras foram transportadas para o laboratório e, dentro de 24 h, passadas em peneira de 4 mm para a retirada de raízes e outros resíduos orgânicos visíveis, como restos de animais e vegetais. Depois de armazenadas por 10 dias em câmara fria a 4 °C, foram incubadas no escuro à temperatura ambiente por uma semana para estabilização da atividade microbiana. Após esse período, foram realizadas as análises de laboratório.

Análises de laboratório

O carbono orgânico foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal.²² A determinação do teor de carbono da biomassa microbiana foi feita pelo método da fumigação-extração,²³ com uso de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ como extrator, oxidação a quente com K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹ + H₂SO₄:H₃PO₄ (2:1) e titulação com (NH₄)₂Fe(SO₄)₂·6H₂O 0,0333 mol L⁻¹. Com base no clima e no tipo de solo, foi utilizado o fator 0,26 para conversão do carbono extraído a carbono da biomassa microbiana.²⁴

Delineamento experimental e análise estatística

A análise de variância foi feita considerando um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com os sistemas de manejo dos cafeeiros e os horários de realização das leituras como as fontes de variação. Para o carbono da biomassa microbiana do solo, apenas a primeira fonte de variação foi considerada, já que as amostras foram coletadas em um único período do dia. A comparação múltipla de médias foi feita pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade e, quando necessário, foi realizado o desdobramento do efeito das fontes de variação. Análises de correlação simples foram feitas no sentido de verificar o grau de associação linear entre variáveis, e os coeficientes obtidos (R) foram submetidos ao teste t. Quando pertinente, foi conduzida análise de regressão linear simples, sendo utilizados os testes t e F para a verificação da significância dos parâmetros do modelo e do coeficiente de determinação (R²), respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evaporação de água e temperatura do solo

O manejo dos cafeeiros afetou as taxas de evaporação de água do solo (E). No entanto, houve efeito significativo do horário de medição para todos os sistemas (análise de variância, P<0,01), com valores destacadamente elevados no período da tarde, sendo máximos das 15-17 h. Neste horário, as diferenças entre os sistemas de manejo ficaram

mais evidentes e a evaporação de água no R_{NR} ($26,8 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) foi significativamente menor do que nas parcelas submetidas à poda, contrastando com valores que oscilaram entre $40,3$ e $44,5 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

A temperatura do solo (T) variou segundo o mesmo padrão temporal apresentado pela E, sendo mais elevada a partir das 12-14 h para todas as parcelas. No entanto, o aumento da temperatura do solo no R_{NR} foi menos intenso que nos demais sistemas, estacionando em valores significativamente menores no horário de 15-17 h (análise de variância, $P < 0,01$).

Fluxo de CO_2 do solo

Não houve efeito do horário de medição sobre as emissões médias de gás carbônico do solo (análise de variância). No entanto, no sistema R_{NR} foi observada uma elevação significativa do fluxo de CO_2 do solo no período de 9-11 h (análise de variância, $P < 0,02$), atingindo um pico de emissão da ordem de $0,537 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 1). Esse valor foi cerca de 58% maior do que o observado no sistema A_{R1} , superando em 1,5 vez as emissões do sistema R_{R2} e em quase 2,5 vezes as do A_{R3} , considerando o mesmo horário de medição. Por outro lado, nos sistemas que sofreram recepagem, as emissões de gás carbônico do solo foram mais constantes no tempo, variando pouco em relação à média diurna.

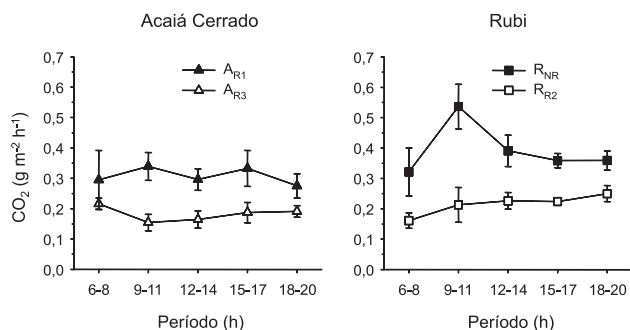


Figura 1. Variação diurna das taxas de emissão de CO_2 do solo em parcelas de café submetidas a manejo diferenciado de poda. A_{R1} e A_{R3} : cultivar Acaia Cerrado com recepagem (poda drástica) em 2001 e 2003, respectivamente; R_{NR} e R_{R2} : cultivar Rubi sem recepagem e com recepagem em 2002, respectivamente. As barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=5$)

O fluxo diurno de gás carbônico do solo (FCO_2) sofreu influência significativa do manejo de podas adotado nas parcelas (análise de variância, $P < 0,01$). Em média, a maior emissão de gás carbônico ocorreu no solo da parcela com a cultivar Rubi não submetida à poda (R_{NR}), com $0,393 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, seguida da cultivar Acaia Cerrado recepada em 2001 (A_{R1}), com $0,308 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Por outro lado, as parcelas com plantas podadas em 2002 (Rubi, R_{R2}) e 2003 (Acaia Cerrado, A_{R3}), as mais recentes, apresentaram as menores médias diurnas de FCO_2 , que foram, respectivamente, $0,215$ e $0,183 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

A parcela com a cultivar submetida à poda em 2003 (A_{R3}) apresentou a mais baixa emissão de CO_2 do solo, mesmo tendo à superfície grande quantidade de massa vegetal seca, deixada no campo após a recepagem. Este fato é uma evidência de que, neste caso, o aporte de resíduos orgânicos ao solo parece não ter sido tão determinante nas emissões de gás carbônico, sugerindo a existência de outro fator mais diretamente envolvido no processo.

Nesse sentido, é conhecido o fato de que a poda drástica com remoção total da parte aérea provoca morte acentuada de parte do sistema radicular da planta, sendo que, a partir dos 60 dias após a recepagem, mais da metade das raízes finas absorventes das plantas pode estar morta, na área de projeção da copa.¹⁷ Nesta situação, os cafés das parcelas A_{R3} e R_{R2} , rececados mais recentemente,

teriam um sistema radicular menos abundante, produzindo menor quantidade de gás carbônico no solo em decorrência do processo de respiração das raízes. Além disso, considerando que a rizosfera é um local enriquecido com compostos oxidáveis de natureza variada, incluindo exsudatos, mucilagens, lisados e secreções, que podem ser utilizados pelos diversos grupos de micro-organismos do solo no seu metabolismo, em interações desenvolvidas com o sistema radicular,²⁵⁻²⁷ alterações na quantidade de raízes da planta podem causar um impacto sensível sobre a microbiota do solo. De fato, análises efetuadas em laboratório indicaram que a biomassa microbiana do solo se desenvolveu melhor nas parcelas que apresentaram as maiores emissões de CO_2 , que foram a R_{NR} e a A_{R1} (Figura 2). A correlação significativa encontrada entre a média diurna das emissões de CO_2 do solo e o teor de carbono da biomassa microbiana ($R=0,90$, $P < 0,05$, $n=4$) corrobora a hipótese de que, ao restringir a atividade do sistema radicular do café, as podas também provocaram diminuição da microbiota do solo. Além disso, reforça a existência de uma inter-relação entre a parte aérea da planta, o sistema radicular e os fluxos de CO_2 , com participação direta dos micro-organismos do solo, o que tem sido relatado com frequência no caso de sistemas florestais.^{9,28,29}

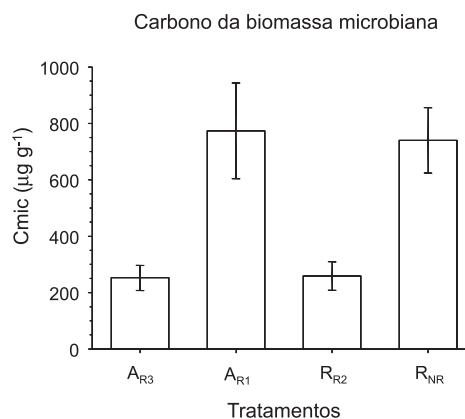


Figura 2. Teor de carbono da biomassa microbiana do solo (C_{mic}) em parcelas de café submetidas a manejo diferenciado de poda. A_{R1} e A_{R3} : cultivar Acaia Cerrado com recepagem (poda drástica) em 2001 e 2003, respectivamente; R_{NR} e R_{R2} : cultivar Rubi sem recepagem e com recepagem em 2002, respectivamente. As barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=5$)

Estudos relacionando aspectos ecofisiológicos com as emissões de CO_2 do solo conduzidos recentemente têm mostrado a importância do metabolismo de carbono na planta neste processo. As emissões de CO_2 do solo em gramíneas, em parcelas submetidas a condições de sombreamento, indicaram que a redução de 95% da intensidade luminosa provoca uma queda de 35 a 39% no fluxo de CO_2 , independentemente de variações na temperatura do ar ou do solo.³⁰ Nesse experimento, a roçagem das plantas a 2 cm da superfície do solo causou uma redução de 19% nas emissões de CO_2 do solo, indicando que a prática interfere no processo não só por causar alterações na biomassa do sistema radicular, mas também, por alterar o fornecimento de carboidratos produzidos na parte aérea.

No presente estudo, o maior fluxo de gás carbônico do solo ocorreu na parcela de cafés não rececados na parte da manhã, período que coincide com as maiores taxas fotossintéticas da planta, que é fisiologicamente adaptada a condições de sombreamento.¹⁴ Desse modo, é bastante provável que o fator determinante das emissões de CO_2 do solo, nestes cafés, esteja diretamente relacionado ao metabolismo da planta como um todo e à atividade do sistema radicular, em particular. Por outro lado, a dinâmica de água no solo e as oscilações de temperatura não parecem ter influência marcante sobre o processo.

Ao contrário dos fluxos de gás carbônico, as taxas de evaporação de água (E) acompanharam sensivelmente a variação da temperatura do solo (T) (Figura 3). A associação entre os valores das duas variáveis ($R=0,80$, $P<0,01$, $n=100$) e a falta de correlação significativa entre as médias de evaporação e o carbono da biomassa microbiana do solo ($R=-0,61$, $P=0,19$, $n=4$) indicam que as perdas de vapor d'água constituíram um fenômeno predominantemente físico, com variações governadas pelas oscilações térmicas do solo. Nesse sentido, as parcelas com cafeeiros menos expostos à insolação direta por possuírem plantas com copas mais desenvolvidas (A_{RI} e, principalmente, R_{NR}) foram, também, as que promoveram uma maior conservação de água no sistema, pelo maior sombreamento do solo. Os resultados indicam que a temperatura do solo pode ser utilizada, com relativa confiabilidade, em estimativas indiretas das taxas de evaporação de água do solo.

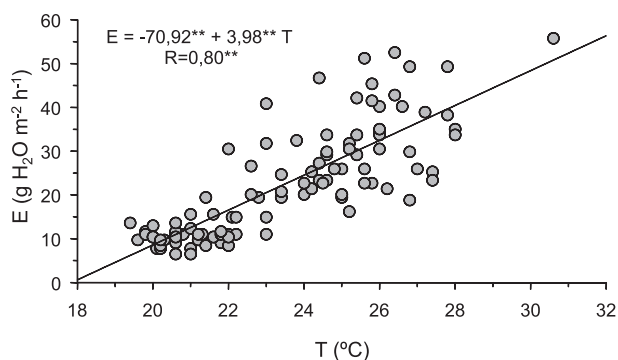


Figura 3. Gráfico de dispersão com valores de taxa de evaporação de água (E) e temperatura do solo (T), em sistemas de manejo de cafeeiros submetidos ou não a operações de poda drástica ($n=100$)

Apesar dos resultados obtidos neste estudo, é necessário investigar se as variações de curto prazo no fluxo diurno de CO₂ observadas no sistema R_{NR} se repetem com a mesma tendência em meses ou períodos do ano diferentes daquele avaliado. Estudos complementares relacionando a atividade do sistema radicular do cafeeiro ou de sua parte aérea com o fluxo de CO₂ do solo serão importantes para determinar a participação efetiva do vegetal neste processo. De qualquer modo, os resultados deste trabalho apontam para a necessidade de se levar em consideração o efeito do manejo sobre o sistema radicular das plantas, em estudos sobre emissões de gás carbônico do solo conduzidos em áreas com culturas perenes.

CONCLUSÕES

As emissões diurnas de CO₂ do solo em cafezais sofreram influência direta do manejo de podas na cultura. O processo foi afetado pelo estágio de desenvolvimento da planta após a recepagem.

Os fatores abióticos do ambiente (temperatura e água) não foram os principais determinantes dos fluxos de CO₂ do solo em áreas com cafeeiros. Por outro lado, os fatores bióticos (plantas e microbiota do solo) são os que parecem condicionar as emissões de CO₂ do solo, nestes ecossistemas.

As variações temporais de curto prazo nos fluxos de CO₂ do solo foram menores em plantas submetidas ao manejo de podas.

REFERÊNCIAS

- Sundquist, E. T.; *Science* **1993**, 259, 5097.
- Eswaran, H.; Berg, E. van den; Reich, P.; *Soil Sci. Soc. Am. J.* **1993**, 57, 1.
- Schlesinger, W. H. Em *An Overview of the Carbon Cycle*; Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E.; Stewart, B. A., eds.; Lewis Publishers: Chelsea, 1995, cap 2.
- Scholes, R. J.; van Breemen, N.; *Geoderma* **1997**, 79, 1.
- Houghton, R. A. Em *Changes in the Storage of Terrestrial Carbon Since 1850*; Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E.; Stewart, B. A., eds.; CRC Press: Boca Raton, 1995, cap. 4.
- Dixon, R. K.; Brown, S.; Houghton, R. A.; Solomon, A. M.; Trexler, M. C.; Wisniewski, J.; *Science* **1994**, 263, 5169.
- Bowden, R. D.; Newkirk, K. M.; Rullo, G. M.; *Soil Biol. Biochem.* **1998**, 30, 12.
- Duiker, S. W.; Lal, R.; *Soil Tillage Res.* **2000**, 54, 1.
- Longdoz, B.; Yernaux, M.; Aubinet, M.; *Global Change Biol.* **2000**, 6, 11.
- Janssens, I. A.; Kowalski, A. S.; *Agric. Forest Meteorology* **2001**, 106, 1.
- Arêdes, A. F.; Pereira, A. W. G.; *Informações Econômicas* **2008**, 38, 4.
- Companhia Nacional de Abastecimento; *Acompanhamento da Safra Brasileira de Café Safra 2008*, 4ª estimativa, CONAB: Brasília, 2008.
- Bartholo, G. F.; Melo, B. de; Mendes, A. N. G.; *Informe Agropecuário* **1990**, 19, 193.
- Rena, A. B.; Nacif, A. de P.; Guimarães, P. T. G.; Bartholo, G. F.; *Informe Agropecuário* **1998**, 19, 193.
- Melles, C. do C. de A.; Guimarães, P. T. G.; *Informe Agropecuário* **1985**, 11, 126.
- Rena, A. B.; Guimarães, P. T. G.; *Sistema Radicular do Cafeeiro: Estrutura, Distribuição, Atividade e Fatores que o Influenciam*, EPAMIG: Belo Horizonte, 2000.
- Miguel, A. E.; Oliveira, J. A.; Matiello, J. B.; Fioravante, N.; Freire, A. C. F.; *Resumos do Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, Londrina, Brasil, 1984.
- Brasil, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária; *Normais Climatológicas (1961-1990)*, Departamento Nacional de Meteorologia: Brasília, 1992.
- Reicosky, D. C.; Dugas, W. A.; Torbert, H. A.; *Soil Tillage Res.* **1997**, 41, 1.
- Mosier, A. R. Em *Gas flux Measurements Techniques with Special Reference to Techniques Suitable for Measurements Over Large Ecologically Uniform Areas*; Bouwman, A. F., ed.; John Wiley & Sons: Wageningen, 1990, cap. 13.
- Field, C. B.; Ball, J. T.; Berry, J. A. Em *Photosynthesis: Principles and Field Techniques*; Pearcy, R. W.; Ehleringer, J.; Mooney, H. A.; Rundel, P. W., eds.; Chapman & Hall: London, 1992, cap. 11.
- Walkley, A.; Black, I. A.; *Soil Sci.* **1934**, 37, 1.
- Vance, E. D.; Brookes, P. C.; Jenkinson, D. S.; *Soil Biol. Biochem.* **1987**, 19, 6.
- Feigl, B. J.; Sparling, G. P.; Ross, D. J.; Cerri, C. C. *Soil Biol. Biochem.* **1995**, 27, 11.
- Brimecombe, M. J.; De Leij, F. A.; Lynch, J. M. Em *The Effect of Root Exudates on Rhizosphere Microbial Populations*; Varanini, R. P. Z.; Nannipieri, P., eds.; Marcel Dekker: New York, 2001, cap. 4.
- Neumann, G.; Römheld, V. Em *The Release of Root Exudates as Affected by the Plant's Physiological Status*; Varanini, R. P. Z.; Nannipieri, P., eds.; Marcel Dekker: New York, 2001, cap. 3.
- Moreira, F. M. de S.; Siqueira, J. O.; *Microbiologia e Bioquímica do Solo*, UFPA: Lavras, 2002.
- Russell, C. A.; Voroney, R. P.; *Can. J. Soil Science* **1998**, 78, 2.
- Högberg, P.; Nordgren, A.; Buchmann, N.; Taylor, A. F. S.; Ekblad, A.; Högberg, M. N.; Nyberg, G.; Ottosson-Löfvenius, M.; Read, D. J.; *Nature* **2001**, 411, 6839.
- Craine, J. M.; Wedin, D. A.; Stuart Chapin, F.; *Plant Soil* **1999**, 207, 1.