

ADUBAÇÃO VERDE, OS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO E A QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Paulo Henrique Ribeiro

Engenheiro Agrônomo, mestrando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo
E - mail phribeiroac@yahoo.com.br

João Victor Vargas Mesquita dos Santos

Engenheiro Agrônomo, mestrando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo E mail jovames@hotmail.com

Sara Morra Coser

Engenheira Agrônoma, mestrando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo E mail saracoser@yahoo.com.br

Natiélia Oliveira Nogueira

Engenheira Agrônoma, mestre em Produção Vegetal e Doutoranda em Produção Vegetal E - mail natielia_nogueira@yahoo.com.br

Camila Aparecida da Silva Martins

Engenheira Agrônoma, mestre em Produção Vegetal e Doutoranda em Produção Vegetal E - mail camila.cca@hotmail.com

Resumo – A integração entre adubação verde, plantio direto e sistema de cultivo em aléias na mesma área pode ser uma alternativa viável para o produtor, possibilitando maior biodiversidade, melhor conservação dos solos e diminuição do uso de insumos externos à propriedade, ou seja, um sistema de produção mais sustentável do ponto de vista econômico, ecológico e social. Esta revisão aborda assuntos que estão intimamente ligados aos estoques de carbono, nitrogênio e a influência das espécies de adubos verdes na qualidade da matéria orgânica do solo. Dentro deste contexto, conclui-se que pra garantir a manutenção da qualidade da matéria orgânica e, conseqüentemente os estoques de carbono e nitrogênio do solo, se faz necessário o constante aporte de material orgânico por meio do emprego dos adubos verdes.

Palavras-chave: nutrientes, plantio direto, plantas de cobertura

GREEN MANURE, CARBON AND NITROGEN STOCKS AND SOIL ORGANIC MATTER QUALITY

Abstract - The integration between green manuring, no tillage and alley cropping system in the same area can be a viable alternative for the producer, allowing for greater biodiversity, improve soil conservation and reduced use of inputs external to the property, ie a production system more sustainable economically, environmentally and socially. This review addresses issues that are closely related to the stocks of carbon, nitrogen and the influence of green manure species on the quality of soil organic matter. Within this context, it is concluded that to ensure the continued quality of organic matter and hence the stocks of carbon and nitrogen in the soil, it is necessary the constant input of organic material through the use of green manures.

Key words: nutrients, no tillage, cover crops

INTRODUÇÃO

Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários provenientes da fotossíntese, utilizando energia solar, CO₂ do ar, água e nutrientes do solo. Os organismos, com destaque aos microrganismos heterotróficos, obtêm energia para o seu desenvolvimento pela decomposição de resíduos vegetais

e da matéria orgânica do solo (MOS), liberando CO₂ para atmosfera, nutrientes, e uma gama de compostos orgânicos secundários oriundos do metabolismo microbiano, os quais passam a matéria orgânica do solo (VEZZANI, 2001).

O emprego de adubos verdes e/ou plantas de cobertura está entre as práticas que visam à sustentabilidade do solo agrícola, podendo ser incorporados ou não ao solo, em

rotação, sucessão ou consorciação com as culturas (ALCÂNTARA et al., 2000), com o objetivo de reduzir a erosão e recuperar características físicas, químicas e biológicas do solo (NASCIMENTO et al., 2005). Os efeitos sobre as propriedades do solo variam com a espécie utilizada, manejo da biomassa, época de plantio e corte, tempo de permanência dos resíduos no solo, condições locais e interação entre esses fatores (ALCÂNTARA et al., 2000).

Segundo estudos científicos e evidências práticas, os adubos verdes desempenham ações em diferentes aspectos da fertilidade do solo, tais como: proteção do solo contra os impactos das chuvas e também da incidência direta dos raios solares; rompimento de camadas adensadas e compactadas ao longo do tempo; aumento do teor de matéria orgânica do solo; incremento da capacidade de infiltração e retenção de água no solo; diminuição da toxicidade do alumínio e manganês devido ao aumento de complexificação e elevação do pH; promoção do resgate e da reciclagem de nutrientes de fácil lixiviação; extração e mobilização de nutrientes das camadas mais profundas do solo e subsolo, tais como cálcio, magnésio, potássio, fósforo e micronutrientes; extração do fósforo fixado; fixação do nitrogênio atmosférico de maneira simbiótica pelas leguminosas; inibição da germinação e do crescimento de plantas invasoras, seja por efeitos alelopáticos, seja pela simples competição por luz (VON OSTERROHT, 2002). De modo geral, as plantas de adubos verdes ou de culturas de cobertura, utilizadas para formar palhada para o sistema de semeadura direta (SSD), desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles adicionados por meio dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais, quanto daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) (TORRES et al., 2008).

Segundo Kluthcouski (1980) as leguminosas e as gramíneas dentre outras várias espécies vegetais podem ser empregadas como adubos verdes, mas, o emprego de plantas leguminosas é mais difundido devido, principalmente, à realização da fixação do nitrogênio atmosférico que essas plantas desenvolvem, e porque os seus sistemas radiculares são mais profundos e mais ramificados que os das gramíneas, melhorando a estrutura do solo e a reciclagem de nutrientes (INFORZATO, 1947); e também porque, segundo informações de Neme (1940), a biomassa das plantas leguminosas é maior e mais rica em teores de nutrientes do que a biomassa das gramíneas. Além disso, os movimentos atuais para o uso reduzido de insumos e o aumento do uso dos sistemas de produção biológicos, têm renovado o interesse no uso de adubação verde com leguminosas, como fonte de nitrogênio (FAGERIA et al., 1999).

Os estoques de MOS são determinados pela razão entre o aporte e perda do sistema. As plantas, pela ação do seu sistema radicular (SILVA & MIELNICZUK, 1997), e as hifas de fungos (MILLER & JASTROW, 1990) potencializam as interações na formação de agregados

estáveis, principalmente pela aproximação de partículas, exsudações bem distribuídas na matriz do solo e união física de agregados de diferentes tamanhos. As interações com os minerais e a formação de agregados diminuem a ação dos microrganismos decompositores, contribuindo para o acúmulo de compostos orgânicos no solo. O processo de proteção física da matéria orgânica é mais intenso em solos não revolvidos (FELLER & BEARE, 1997; SIX et al., 1999).

O carbono pode acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica (MO) no solo, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de carbono atmosférico, bem como nas alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos sob Plantio Direto (PD). Assim, visando identificar em quais compartimentos o carbono está acumulando, têm sido utilizadas técnicas de fracionamento físico da MO que podem ser granulométricas (FELLER & BEARE, 1997; FRANZLUEBBERS & ARSHAD, 1997; NEEDELMAN et al., 1999), densimétricas (GOLCHIN et al., 1994), ou uma mistura de ambas (SIX et al., 1998). O acúmulo de carbono em frações lábeis da MO tem sido relacionado à sua proteção física no interior de agregados, em consequência da inacessibilidade aos microrganismos e suas enzimas (FELLER & BEARE, 1997). A MO protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a MO livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados (BUYANOVSKY et al., 1994).

O estoque de matéria orgânica (MO) apresenta rápida queda quando o solo é submetido a sistemas de preparo com intenso revolvimento (SILVA et al., 1994), decorrente do aumento das perdas por erosão hídrica e oxidação microbiana. Esta perda de MO reflete-se negativamente na capacidade de troca de cátions (SILVA et al., 1994) e na complexação de elementos tóxicos como o alumínio (MENDONÇA, 1995) nos solos. As boas propriedades físicas do solo, como a macroagregação, porosidade e infiltração de água são parcialmente perdidas (RESCK, 1997).

As diferentes frações de carbono orgânico humificado do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas entre si, e a distribuição dessas frações no solo pode indicar a qualidade da matéria orgânica (CANELLAS et al., 2003).

Influência das espécies de adubos verdes no carbono, nitrogênio e qualidade da matéria orgânica do solo

Ao derrubar a vegetação nativa para estabelecer plantações, há remoção de sistemas biológicos complexos, multiestruturados, diversificados e estáveis, e sua substituição por sistemas simples e instáveis provoca variações nos estoques de várias frações orgânicas do solo (CANELLAS et al., 2003; DIAS et al., 2007).

A fração biodegradável representa aproximadamente 1/3 do carbono orgânico do solo e um curto período de

permanência no solo, cuja principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas, através de sua mineralização, e de energia e carbono aos organismos do solo (ANDERSON & FLANAGAN, 1989). A fração humificada representa cerca de 2/3 do carbono orgânico do solo e maior permanência no solo, sendo sua principal função atuar sobre as condições químicas e físicas do solo (ANDRIULO et al., 1990)

O uso de leguminosas, combinado com maior diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, aumenta de forma significativa a retenção de carbono e nitrogênio no solo, com implicações importantes para o balanço destes elementos em escala regional e global e para a produção sustentável e a qualidade ambiental (AMADO et al., 2001). Jantalia et al., (2003), chegaram ao resultado de que os sistemas de rotação de culturas com maior diversidade de espécies em relação à sucessão trigo-soja, promoveram estoques de carbono e nitrogênio significativamente maiores em Plantio Direto, enquanto em Plantio Convencional estes efeitos foram nulos. Estes sistemas de rotação envolveram espécies leguminosas e gramíneas utilizadas como adubação verde e cobertura morta. Essa diversidade de resíduos com diferentes valores de relação C/N, pode minimizar a perda de nitrogênio que ocorre após a intensa mineralização da palhada de baixa relação C/N (LADD et al., 1981). A redução pode ocorrer principalmente de duas maneiras: 1- pela presença de compostos de C dos resíduos da cultura anterior, que pela atividade microbiana ocorrerá a imobilização do N em excesso, o que contribui para a formação de compostos húmicos; 2- o aproveitamento pelas plantas cultivadas do nitrogênio liberado durante a mineralização dos resíduos da leguminosa (AMADO et al., 1999).

O efeito da leguminosa como cultura de cobertura fica bem evidente no plantio direto (PD); no plantio convencional (PC) os estoques de carbono do solo tenderam a reduzir em relação à vegetação nativa (JANTALIA et al., 2004). Isso foi confirmado por Testa et al. (1992) em seu estudo onde o uso de sucessões de culturas com produções de biomassa maiores que a da vegetação espontânea permitiu elevar o teor de carbono do solo, no cultivo sem revolvimento, com aumentos tanto maiores e mais rápidos, quanto maior a produção adicional de biomassa das sucessões. O aumento no teor de carbono do solo promoveu um aumento da capacidade de troca de cátions do solo, com destaque para os sistemas milho + guandu, siratro /milho + lablabe, incluindo, todos, leguminosas de origem tropical. É provável que o revolvimento do solo, no preparo convencional, tenha provocado perdas de carbono superiores ao ganho promovido pela adubação verde, e que o nitrogênio mineralizado em decorrência deste estímulo, esteja sendo perdido do sistema, diminuindo ainda mais o potencial de formação de húmus do solo. O revolvimento do solo promove a destruição dos agregados (CONSENTINO et al., 1998), e potencializa a mineralização do carbono e nitrogênio da MOS, principalmente quando é incorporada

uma quantidade significativa de compostos orgânicos pouco estáveis, principalmente de baixa relação C/N (ANDERSON & FLANAGAN, 1989).

Em um experimento de longa duração (15 anos), Jantalia et al., (2004) verificaram que, apesar da diferença nos conteúdos de carbono e nitrogênio do solo se expressarem somente na camada de 0-5 cm do solo, o estoque (camada de 0-100 cm) foi maior no PD (167 Mg ha⁻¹ de C e 14,1 Mg ha⁻¹ de N) do que no PC (149 Mg ha⁻¹ de C e 13 Mg ha⁻¹ de N), ambos com rotação de culturas com leguminosas e gramíneas. Os estoques de carbono e nitrogênio nos solos parecem estar relacionados ao sistema de preparo do solo tão quanto às espécies de cobertura. Contudo, a inclusão de leguminosas num sistema de rotação aumenta a disponibilidade de nitrogênio, que é essencial na estabilização do carbono por meio da síntese de substâncias mais humificadas (mais ricas em nitrogênio), e garante melhor estabilidade estrutural para a MOS. O incremento de carbono no solo está intimamente relacionado com o aumento de nitrogênio no solo, como mostrou a correlação de Pearson no trabalho de Macedo (2007). Além disso, o nitrogênio das leguminosas (nitrogênio orgânico) é o preferencial pelos processos de síntese microbiana das substâncias húmicas. Resíduos de palha de arroz marcados com ¹³C e ¹⁵N e (NH₄)₂SO₄ com ¹⁵N foram submetidos à incubação com solo, durante 90 dias, com o intuito de verificar a contribuição da forma mineral de nitrogênio às frações da MOS estabilizada. Houve maior recuperação do nitrogênio derivado do resíduo vegetal que do nitrogênio mineral, indicando a preferência de assimilação das formas orgânicas, em relação às formas minerais e, a maior recuperação das formas de nitrogênio (mineral e orgânica) ocorreu na fração mais estável (humina) (MORAN et al., 2005).

Um experimento de 22 anos sob plantio direto em um solo antes degradado pelo cultivo de colza e girassol no sistema convencional, indicou que dentre as leguminosas estudadas, as estivais (de verão) apresentaram destaque no acúmulo de nitrogênio total no solo. Os sistemas sem adubação nitrogenada LL+M, G+LL e G+M (G=guandu; LL=labelabe e M=milho) acumularam no solo, em relação ao início do experimento, 770, 870 e 1.270 kg ha⁻¹ de nitrogênio, o que equivale a uma taxa anual de acúmulo de 35, 40 e 58 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio, respectivamente. Esses estoques estão próximos ou já ultrapassaram aqueles do campo nativo. Já os sistemas com leguminosas de inverno apresentaram, em média, uma taxa de acúmulo de 9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio (WEBER & MIELNICZUK, 2009).

Os sistemas consorciados entre gramíneas e leguminosas mucuna/milho e guandu/milho foram os que mais se destacaram em manter os estoques de COT e NT do solo equivalentes ao do campo natural, quando comparados aos sistemas com somente gramíneas em PD. Nesses tratamentos, o carbono da fração > 53µm foi maior em valores absolutos na camada 0-5 cm e em maior proporção em relação ao COT (CONCEIÇÃO et al.,

2005). Na camada de 0-20 cm, os maiores estoques de CO foram verificados no sistema milho+mucuna cinza ($61,7\text{Mg ha}^{-1}$) e, quanto ao estoque de NT no solo, os sistemas com mucuna cinza ($5,09\text{Mg ha}^{-1}$) e feijão de porco ($5,10\text{Mg ha}^{-1}$) promoveram incrementos de 1,11 e $1,12\text{ Mg ha}^{-1}$ na camada de 0-20 cm, respectivamente, em comparação à testemunha sem planta de cobertura ($3,98\text{Mg ha}^{-1}$) (BAYER et al., 2003). Os estoques do solo em um experimento de 8 anos variaram de $22,06\text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $3,59\text{ Mg há}^{-1}$ de nitrogênio total, no sistema tradicional pousio/milho, a $27,48\text{ Mg há}^{-1}$ de C e $4,87\text{ Mg há}^{-1}$, no sistema milho + mucuna. O destaque do sistema milho + mucuna em relação aos demais, provavelmente, foi associado ao elevado aporte de fitomassa neste sistema, estimado em $4,51\text{ Mg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de C (AMADO et al., 2001).

Os seis anos de experimento com diferentes sucessões em Sistemas de Plantio Direto conduzido por Gonçalves e Ceretta (1999) somente foram suficientes para promover acúmulos significativos de carbono orgânico na camada de 0-2,5 cm, sendo que a rotação tremoço azul/milho promoveu a maior quantidade de carbono acumulado nos resíduos e o maior acúmulo de carbono orgânico no solo. Esses autores esperam que, com a manutenção dessas sucessões nestas áreas, surjam acúmulos de carbono orgânico a maiores profundidades do solo, concluindo que provavelmente não tivesse transcorrido tempo suficiente para acumular carbono em profundidade. Gonçalves et al. (2000) no mesmo experimento encontraram a mesma tendência para nitrogênio total, onde novamente se destaca a sucessão tremoço azul/milho como a que mais acumulou nitrogênio total nos resíduos. Essa evolução esperada também foi encontrada no trabalho de Testa (1989) e no trabalho de Pavinato (1993). A associação do não revolvimento do solo e/ou sistemas de culturas com alta adição de resíduos, resultam, inicialmente na recuperação dos teores de matéria orgânica na camada superficial, mas com o passar do tempo manifesta-se em camadas mais profundas (BAYER et al., 2003).

A adição diferenciada de resíduos vegetais ao solo, durante os 18 anos de condução de um experimento, afetou os estoques de C orgânico no solo na camada de 0-20 cm, os quais variaram de $27,8\text{ t ha}^{-1}$ (plantio convencional aveia/milho) a $36,1\text{ t ha}^{-1}$ (plantio direto ervilhaca/milho). Mostrando mais uma vez o efeito da leguminosa que, pelo fornecimento de nitrogênio, aumenta a produção de fitomassa na área (COSTA et al., 2008). Mais adições de nitrogênio pelas culturas resultou em um maior acúmulo de nitrogênio total no solo em sistema plantio direto ($R^2 = 0,97$), em estudo desenvolvido por Lovato et al. (2004), no qual observou-se que 50 % do nitrogênio adicionado pelas culturas foi retido como nitrogênio total no solo.

Numa área de extração de argila que foi revegetada, a cobertura com *Acacia mangium* proporcionou maior carbono orgânico total na profundidade de 0-10 e 10-20 cm e maior teor de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas quando comparada com a *Brachiaria mutica*, o

grau de humificação na área com a leguminosa ficou entre 58 e 88% conforme a profundidade.

Por meio da utilização de concentrações crescentes de ácido sulfúrico é possível separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, denominadas F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L^{-1} de ácido sulfúrico. As frações F1 e F2 estão associadas à disponibilidade de nutrientes e à formação de macroagregados (CHAN et al., 2001), sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo e altamente correlacionada com a fração leve livre da MOS (MAIA et al., 2007). Já as frações F3 e F4 estão relacionadas a compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (STEVENSON, 1994). A fração F4 é a mais resistente do solo, sendo denominada "compartimento passivo" nos modelos de simulação da MOS, com tempo de reciclagem de até 2.000 anos (CHAN et al., 2001). O sistema de cultivo em aléias acácia+guandu favoreceu maiores aportes de matéria orgânica facilmente decomponível (fração F1), enquanto o tratamento leucena+guandu propiciou maiores aportes de matéria orgânica mais resistente (fração F3 + F4) quando estudados por Loss et al. (2009) em um Argissolo Vermelho-Amarelo do trópico úmido do Maranhão.

Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de carbono no solo associadas ao manejo. As reduções nestes compartimentos são, de modo geral, maiores que as observadas, quando se considera apenas o conteúdo total de carbono do solo (JANZEN et al., 1992). Numa escala crescente de sensibilidade, obtém-se, em primeira ordem, a biomassa microbiana do solo (BMS), bastante variável e sensível, considerada como compartimento ativo na dinâmica da MOS (LUNDQUIST, et al., 1999); em seguida, representando uma medida de sensibilidade intermediária, obter-se-ia a matéria orgânica leve (MOL) (FREIXO et al., 2002).

A biomassa microbiana é considerada catalizadora do solo, tendo grande importância no processo da decomposição dos resíduos orgânicos e na ciclagem de nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). O carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e o nitrogênio da biomassa (N_{mic}), bem como a razão C_{mic}/C_{org} e N_{mic}/N_{total} são índices úteis para monitorar as transformações da matéria orgânica do solo (TÓTOLA & CHAER, 2002). Anderson e Domsch (1993) afirmaram que o incremento no carbono e nitrogênio microbiano, após mudanças no sistema de uso do solo, induz aumento subsequente no carbono e nitrogênio orgânico e vice-versa. O uso de determinadas plantas pode favorecer esse processo. Estilosantes, sorgo, mombaça e milheto como culturas antecessoras ao cultivo do feijoeiro foram superiores quanto ao carbono da biomassa microbiana quando comparados ao guandu, brachiaria consorciada com milho e brachiaria solteira (SILVA et al., 2007). Carneiro et al. (2008) verificou que com as palhadas de

feijão-de-porco, aveia, lablabe, crotalaria juncea e níger tem-se um incremento no carbono da biomassa microbiana do solo no início das chuvas. Os plantios de *Acacia mangium* com 5 anos de idade não proporcionaram aumentos significativos do carbono orgânico do solo em comparação às áreas de referência (cerrado nativo de Roraima). Entretanto, na média geral, esses plantios proporcionaram aumento do carbono da biomassa microbiana do solo e redução do quociente metabólico, indicando a possibilidade de acúmulo de carbono orgânico no solo em longo prazo (SIMÕES et al., 2010).

As pesquisas necessitam buscar melhor compreensão acerca da contribuição do sistema radicular das plantas para as frações de carbono do solo. A deposição de carbono solúvel por exsudatos radiculares de arroz, por exemplo, foi uma fonte importante de carbono dissolvido para o processo de humificação no solo conforme o trabalho de Farias et al., (2005). Quanto mais prontamente assimilável, mais rápida foi a estabilização do C com a fração mineral na forma de huminas. Se a matéria fresca adicionada apresentava maior relação C/N ou teores mais elevados de ligninas, a fração favorecida na estabilização da matéria orgânica humificada era a dos ácidos fúlvicos.

CONCLUSÕES

Para garantir a manutenção da qualidade da matéria orgânica e, conseqüentemente os estoques de carbono e nitrogênio do solo, se faz necessário o constante aporte de material orgânico por meio do emprego dos adubos verdes.

A diversidade de espécies de cobertura associada ao sistema plantio direto, sucessão, rotação e consórcio de cultivos, condicionam o manejo eficiente do solo para a máxima exploração de seu potencial em propiciar condições mais favoráveis ao desenvolvimento dos cultivos e o estoque de carbono e nitrogênio inicialmente nas camadas superiores e, com o tempo de adoção, nas camadas mais profundas do solo.

A inclusão de leguminosas como adubo verde fornece o nitrogênio orgânico utilizado preferencialmente pelos microrganismos sintetizadores das frações mais estáveis da MOS (huminas).

Espécies de cobertura do solo que apresentem maior produção de biomassa (principalmente espécies de verão) tendem a promover maiores acúmulos de carbono e nitrogênio no solo.

LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M. B. DE; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUCK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 679-686, 1999.

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.

ANDERSON, J.M.; FLANAGAN, P. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. IN: COLEMAN, D.C.; OADES, M.; UEHARA, G. (eds). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. University of Hawaii Press, Honolulu, p. 233-255, 1989.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.

ANDRIULO, A.E.; GALANTINI, J.A.; PECORATI, C.; TORIONI, E.; Materia organica Del suelo em La región pampeana. I. In método de fraccionamiento por tamizado. **Agrochimica**, Pisa, v.34, n5-6, p.475-489, 1990.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. do P.; ERNANI, P.R.; ALBURQUEQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, v.33, n.3, p.469-475, 2003.

BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1167-1173, 1994.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. de. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v.67, n.2, p.455-462, 2008.

CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, v.166, p.61-67, 2001.

- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.777-788, 2005.
- CONSENTINO, D; CONSTANTINI, A; SEGAT, M; FERTIG, M. Relationships between organic carbon fractions and physical properties of Argentine soil under three tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p. 981-986, 1998.
- COSTA, F. de 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**, Viçosa, v.32, n.1, p.323-332, 2008.
- DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.901-911, 2007.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A.B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999.
- FARIAS, E. P.; ZONTA, E.; CANELLAS, L. P.; Santos G de A. Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua influência nos teores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29 n.6, p.875-882. 2005.
- FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.69-116, 1997.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; ARSHAD, M.A. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1382-1386, 1997.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.425-434, 2002.
- GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.285-309, 1994.
- GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.307-313, 1999.
- GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.153-159, 2000.
- INFORZATO, R. Estudo do sistema radicular de *Tephrosia candida* D.C. **Bragantia**, v.7, p.49-54, 1947.
- JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P. dos; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Agronomia**, v. 37, n° 2, p. 91 - 97, 2003.
- JANTALIA, C.P.; ALVES, B.J.R.; DENARDIN, J.E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. **Rotação de cultura em sistema plantio direto e preparo convencional do solo – Importância da adubação verde com leguminosas no estoque de C e N do solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 18 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 183).
- JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.1799-1806, 1992.
- KLUTHCOUSKI, J.C. **Leucena**: alternativa para a pequena e média agricultura. Goiânia: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, 1980. 23p. (EMBRAPA, CNPAF. Circular Técnica, 6).
- LADD, J. N; OADES, J. M; AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. **Soil Biology e Biochemistry**, v.13, p.251-256, 1981.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P.; SANTOS, L.L.; BEUTLER, S.J.; FERRAZ-JUNIOR, A.S.L. Frações oxidáveis do carbono orgânico em argissolo vermelho-amarelo sob sistema de aleias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.867-874, 2009.
- 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, 175-187, 2004.

- LUNDQUIST, E.J.; JACKSON, L.E.; SCOW, K.M.; HSU, C. Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of Rye into three California agricultural soils. **Soil Biology e Biochemistry**, v.31, p.221-236, 1999.
- MACEDO, M. de O. **Estoque de Carbono, Nitrogênio e Fertilidade do Solo em Áreas em Recuperação com Leguminosas e em um Sistema de Agricultura Itinerante de Alta Produtividade**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 82 p. Dissertação de Mestrado.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; SENNA, O.T.; MENDONÇA, E.S.; ARAUJO, J.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.71, p.127-138, 2007.
- MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.25-30, 1995.
- MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. **Soil Biology e Biochemistry**, v.22, p.579-584, 1990.
- MORAN, K.K.; SIX, J.; HORWATH, W.R.; van KESSEL, C. Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.1730-1736, 2005.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.
- NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D.; SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.825-831, 2005.
- NEEDELMAN, B.A.; WANDER, M.M.; BOLLERO, G.A.; BOAST, C.W.; SIMS, G.K.; BULLOCK, D.G. Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1326-1334, 1999
- NEME, A.M. **Leguminosas para adubos verde e forragens**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1940. 28p. (IAC. Boletim Técnico, 109).
- PAVINATO, A. **Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados por sistemas de culturas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. 122p. Dissertação de Mestrado.
- RESCK, D.V.S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 21p. Palestras, CD-ROM.
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.
- SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.541-547, 1994.
- SILVA, M.B. da; KLIEMANN, H.J.; SILVEIRA, P.M. da; LANNA, A.L. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.12, 1755-1761, 2007.
- SIMÕES, S. M. O.; ÉDSON, Z.J.; GOMES, C.M.C.; HÉLIO, T. BALIEIRO, F. de C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazonica**, v.40, n.1, p.23-30, 2010.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1350-1358, 1999.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, p.1367-1377, 1998.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York, John Wiley e Sons, 1994. 496p.
- TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.107-114, 1992. ve
- TESTA, V.M. **Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 134p. Dissertação de Mestrado.
- TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade

do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.421-428, 2008. VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. Tese de Doutorado.

VON OSTERROHT, M. O que é uma adubação verde: princípios e ações. **Agroecologia Hoje**, n.14, p.9-11, 2002.

WEBER, M.A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, 429-437, 2009.

Recebido em 19 10 2010

Aceito em 20 03 2011