

IMPACTOS DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO
COM COBERTURA VEGETAL (SPDCV) SOBRE A DINÂMICA
DA ÁGUA, DO NITROGÊNIO MINERAL E DO CARBONO
DO SOLO DO CERRADO BRASILEIRO¹

Éric Scopel²
Jean-Marie Douzet³
Fernando Antonio Macena da Silva⁴
Alexandre Cardoso⁵
José Aloisio Alves Moreira⁶
Antoine Findeling⁷
Martial Bernoux⁸

RESUMO

Nas regiões tropicais, principalmente no Cerrado brasileiro, para assegurar uma produção agrícola sustentável, é preciso recorrer a novos sistemas de cultura. Por

¹ Artigo originalmente publicado sob o título *Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens*, no periódico *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures*. Volume 14, Numéro 1, 71-75, janvier-février 2005.

² Agrônomo, Doutor em Ciências Agronômicas, pesquisador do Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), Embrapa Cerrados, Km 18, BR 020, Rodovia Brasília-Fortaleza, Caixa Postal 08223, 73310-970 Planaltina, DF. eric.scopel@cirad.fr

³ Agrônomo, pesquisador do Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 05, França. jean-marie.douzet@cirad.fr

⁴ Agrônomo, Doutor em Água e Solo, pesquisador da Embrapa Cerrados, Km 18, BR 020, Rodovia Brasília-Fortaleza, Caixa Postal 08223, 73310-970 Planaltina, DF. macena@cpac.embrapa.br

⁵ Agrônomo, Doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Embrapa Cerrados, Km 18, BR 020, Rodovia Brasília-Fortaleza, Caixa Postal 08223, 73310-970 Planaltina, DF. alexandre.cardoso@embrapa.br

⁶ Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Rodovia Goiânia-Nova Veneza, Km 12, Caixa Postal 179, 73375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. jaloisio@cnpaf.embrapa.br

⁷ Agrônomo, Doutor em Ciências da Terra, pesquisador do Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), Avenue Agropolis, 34398 Montpellier, Cedex 05, França. antoine.findeling@cirad.fr

⁸ Agrônomo, Doutor em Ciências da Terra, pesquisador do Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 911 Avenue Agropolis, BP 64501, 34394, Montpellier, Cedex 05, França. martial.bernoux@mpl.ird.fr

isso, foi desenvolvido o Sistema de Plantio Direto com Cobertura Vegetal (SPDCV), que preconiza o não-revolvimento do solo e o cultivo de plantas de cobertura, antes ou depois da cultura comercial, para produzir mais biomassa e proteger permanentemente o solo. Desde 1999, vários estudos vêm sendo realizados no âmbito de um projeto de pesquisa franco-brasileiro. O principal objetivo foi quantificar os efeitos do SPDCV sobre a dinâmica da água, do nitrogênio e do carbono no perfil do solo. Os resultados permitiram confirmar que o uso desse sistema diminui significativamente o escoamento superficial e a erosão hídrica do solo. Nele, a oferta global de nitrogênio para a cultura comercial é maior. Além do mais, a planta de cobertura pode aproveitar a água e o nitrogênio não utilizados pela planta comercial para produzir mais biomassa, restituindo nutrientes para a próxima cultura comercial. Considerando as importantes restituições de biomassa proporcionadas por esse novo sistema a várias espécies cultivadas por ano, o SPDCV resultou em um balanço positivo de carbono e no aumento da taxa de matéria orgânica do solo.

Termos para indexação: plantas de coberturas, reciclagem, utilização de biomassa, matéria orgânica, modelagem.

IMPACTS DES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT AVEC COUVERTURE VÉGÉTALE (SCV) SUR LA DYNAMIQUE DE L'EAU, DE L'AZOTE MINÉRAL ET DU CARBONE DU SOL DANS LES CERRADOS BRÉSILIENS

RÉSUMÉ

Dans les conditions tropicales humides des Cerrados brésiliens, de nouveaux systèmes de culture étaient nécessaires pour assurer une production agricole durable. Des systèmes en semis direct avec couverture végétale (SCV) ont été mis au point en incorporant des plantes de couvertures avant ou après la culture commerciale. Depuis 1999, différentes études ont été réalisées dans le cadre d'un projet de recherche franco-brésilien. Elles ont permis de quantifier les effets de ces SCV sur les dynamiques de l'eau, de l'azote et du carbone en particulier. Il a été ainsi confirmé que les SCV permettent de diminuer le ruissellement et donc l'érosion qui lui est liée. De même, les SCV permettent une fourniture en azote supérieure pour la plante commerciale. L'eau et l'azote non valorisées par cette culture peuvent l'être par la plante de couverture additionnelle, de même que l'eau et l'azote mis à disposition en dehors de ce cycle commercial. Les importantes restitutions de phytomasse de ces nouveaux systèmes à plusieurs plantes dans l'année aboutissent à un bilan de carbone positif et une augmentation des taux de matière organique des sols.

Termes d'indexation: eau, azote, carbone, recyclage, utilisation de la biomasse.

Impactos do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (SPDCV) sobre a dinâmica...

IMPACTS OF DIRECT-SOWING MULCH-BASED CROP SYSTEMS (DMC) ON
WATER, MINERAL NITROGEN AND SOIL CARBON DYNAMICS IN THE
BRAZILIAN *CERRADOS*

ABSTRACT

Under the humid tropical climate of the Brazilian Cerrados, there is a need for new cropping systems in order to sustain agricultural production. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) with the introduction of a cover crop before or just after the commercial crop have been developed. By adopting DMC systems farmers are able to make more efficient use of the natural resources and to increase annual total biomass production. Crop residues protect the soil throughout the year and increase the organic matter input to the soil. Since 1999, several studies in a Franco-Brazilian collaborative project have aimed to quantify DMC impacts, on water, carbon and nitrogen dynamics. DMC systems decrease significantly water surface runoff, thereby decreasing soil erosion losses. Cover crops in DMC systems are also able to recycle part of the excess water after harvest of the commercial crop. Because of more favourable conditions under DMC compared to conventional systems, soil organic matter mineralisation is increased during the growing season. Additionally, part of the soil protecting organic mulch mineralizes at the same time. Consequently, under DMC the commercial crop benefits from a larger supply of inorganic nitrogen. The cover crop is also able to recycle part of the mineral nitrogen that was non used by the commercial crop, and nitrogen mineralized after harvest of the commercial cycle. Under DMC the more intense microbial activity is also responsible for higher CO₂ emissions to the atmosphere compared to conventional cropping systems. Nevertheless, the net soil carbon balance is positive for DMC systems, principally because of the large crop biomass production and organic inputs due to the introduction. of cover crop As a result under the humid and hot conditions of the Cerrados, the soil carbon content increases under DMC.

Index terms: water resource, nitrogen, carbon, recycling, biomass.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil apresenta 16 milhões de hectares cultivados sob o Sistema de Plantio Direto com Cobertura Vegetal (SPDCV) (FEBRAPDP, 2003). No Cerrado – vasta região de savanas tropicais, localizada, principalmente, no centro do País –, somente na década de 80 é que esse novo sistema começou a se desenvolver. Embora os produtores tivessem solucionado, com o uso da técnica de calagem, a acidez natural dos latossolos que predominam

na região, as grandes áreas de planalto com condições favoráveis à mecanização foram rapidamente degradadas, pois o monocultivo intensivo da soja, com a utilização inadequada de implementos agrícolas, provocou a erosão e a redução do teor de matéria orgânica desses solos.

Os novos SPDCVs introduzidos inicialmente na região, por sua capacidade de combater a erosão (SÉGUY et al., 1998 ; RESCK, et al., 2000), preconizam numerosas modificações de gestão do solo e da biomassa. O não-revolvimento do solo nesses sistemas, aliado à camada de resíduos que atua como dissipadora de energia, modificam o equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial e diminuem a evaporação direta da água do solo (RAO et al., 1998; STEINER et al., 1994). A mineralização do nitrogênio está associada a modificações da umidade e da temperatura dos horizontes superficiais do solo resultantes da presença de resíduos (SCHOMBERG et al., 1994). A introdução de culturas complementares, conhecidas como plantas de cobertura, permite aproveitar eficientemente a água e os elementos minerais não utilizados pelas principais culturas comerciais (ANDERSON et al., 2001). Elas constituem importantes aportes orgânicos suplementares que podem ter repercussão em longo prazo sobre a evolução dos estoques de carbono do solo.

O estudo dessas modificações é essencial para avaliar a durabilidade dos sistemas com cobertura vegetal. Até então, vários trabalhos foram desenvolvidos no Brasil para estimar a capacidade de esses sistemas controlarem a erosão (KEMPER; DERPSCH, 1981), ou para avaliar a influência da introdução de leguminosas sobre o balanço de nitrogênio (DERPSCH; CALEGARI, 1992). Porém, poucos trabalhos têm focado a dinâmica da água, do nitrogênio e do carbono nesses sistemas. Para preencher essa lacuna, um projeto está sendo conduzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pelo Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) e por outras parcerias para avaliar os efeitos dos SPDCV sobre a dinâmica da água, do nitrogênio e do carbono do solo no Cerrado brasileiro.

Efeitos sobre a dinâmica da água

O Cerrado brasileiro é caracterizado por duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa, com excesso hídrico climático, e outra seca, com déficit hídrico acentuado. Os valores médios anuais de chuvas variam de 1.500 a

2.000 mm. Mesmo assim, a variabilidade espaço-temporal das chuvas é um fator de risco que compromete o desenvolvimento dos sistemas agrícolas, pois, na estação chuvosa, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, acontecem estiagens prolongadas, denominadas “veranicos”, que podem prejudicar a produção comercial (SILVA, 2004). Nesse contexto, os efeitos dos SPDCs sobre a dinâmica de água originaram muitos trabalhos, com vista a caracterizar as modificações dos termos do balanço hídrico, suas conseqüências sobre a produtividade da cultura comercial e a valorização do recurso hídrico pela planta de cobertura.

Como é muito difícil quantificar diretamente os efeitos de sistemas de cultura sobre alguns fluxos hídricos, pela dificuldade de mensurá-los, adotou-se a estratégia de quantificar, inicialmente, os efeitos dos resíduos sobre: 1) a interceptação direta da água da chuva; 2) a relação infiltração-escoamento superficial; e 3) a evaporação direta da água do solo. A interceptação foi estimada segundo a capacidade de armazenamento de água dos resíduos; o escoamento superficial foi medido em um dispositivo de parcelas fechadas com um sistema coletor de enxurradas; e os efeitos sobre a evaporação da água do solo foram abordados segundo a capacidade de os resíduos interceptarem a radiação solar, principal fonte energética responsável pelo fenômeno. Esses efeitos foram, em seguida, introduzidos no módulo de balanço hídrico de modelos de crescimento de plantas que, depois de ser devidamente calibrados e validados, foram utilizados para calcular de maneira iterativa, ao longo do ano, o balanço hídrico de cada sistema estudado (SCOPEL et al., 2004). Utilizou-se o modelo STICS (BRISSON et al. 1998) para a sucessão milho–milheto (SILVA, 2004), e o modelo Pastis (LAFOLIE, 1991) para a sucessão arroz–braquiária (REYES GOMEZ, 2002). Nos dois casos, comparou-se o SPDCV com o sistema convencional caracterizado pelo revolvimento do solo com o cultivo apenas da cultura comercial. No primeiro estudo, o modelo também foi aplicado ao ciclo da planta de cobertura, cujos principais resultados estão apresentados na Tabela 1.

Os SPDCVs contribuíram para diminuir as perdas de água por escoamento em mais de 50%. Os resíduos também desempenharam um efeito positivo sobre a evaporação direta do sistema solo–resíduo, pois, apesar de interceptarem água e perdê-la em seguida para a atmosfera, eles reduziram entre 10% e 20% a perda total de água por evaporação. Essa água economizada favorece diretamente a cultura principal que, dessa maneira, pode suportar

melhor os eventuais veranicos que acontecem nos meses de janeiro e fevereiro e aumentar o seu consumo de água por transpiração. Todos esses efeitos decorrentes da presença dos resíduos vegetais na superfície do solo estão de acordo com outros resultados obtidos anteriormente no México (SCOPEL; FINDELING, 2001).

Tabela 1. Balanço hídrico no sistema convencional e nas sucessões milho–milheto (SILVA, 2004) e arroz–braquiária + sorgo (REYES GOMEZ et al., 2002) em SPDCV.

Balanço hídrico do milho							
Manejo	P Mm	R Mm	Es Mm	Ep Mm	D mm	Tc mm	ΔSt Mm
Conv.	907	45	260	-	206	306	89
SPDC	907	9	159	56	202	350	131
Balanço hídrico do milheto							
SPDC	63	1	63	16	0	126	-114
Conv.	856	95	229	-	396	127	-53
Balanço hídrico do arroz							
SPDC	856	47	208	30	403	141	-78

P = precipitação (mm); Es = evaporação da água do solo (mm); Ep = evaporação da água do resíduo (mm); Tc = transpiração da planta (mm); R = escoamento superficial (mm); D = drenagem (mm); ΔSt = variação do estoque de água do solo (mm).

Analisando-se a Tabela 1, observa-se que os estoques de água no solo no SPDCV foram superiores ao final do ciclo da cultura principal, quando comparados com os do sistema convencional. Essa água suplementar, adicionada à água armazenada durante o fim da estação chuvosa, foi valorizada pela planta de cobertura que, dessa maneira, produziu mais biomassa durante um segundo ciclo, como se pode observar no caso da cultura do milheto destacado na Tabela 1.

Nos dois estudos, a maior quantidade de água infiltrada no SPDCV não provocou aumento da drenagem como ocorreu com o sistema convencional. Nos dois tratamentos, a drenagem foi importante, mas, no caso do SPDCV, a infiltração mais elevada foi compensada, em parte, pelo maior consumo de água das culturas durante todo o ciclo. Em seguida, realizou-se uma análise de frequência a partir dos resultados gerados pelo modelo STICS. Para isso,

utilizou-se uma série climática, com 29 anos de dados, constituída de precipitação, temperaturas máxima e mínima, evapotranspiração potencial e radiação global, todos medidos na estação experimental da Embrapa Cerrados, que apresenta características edafoclimáticas próprias do Cerrado.

Os resultados mostraram que, para uma cultura de milho de sequeiro, a probabilidade de drenagem aumenta nos SPDCVs, particularmente em solos argilosos com baixa capacidade de armazenamento de água, quando a quantidade de resíduos aumenta e quando há chuvas mais intensas e mais abundantes (SCOPEL et al., 2004). A água que percola no perfil do solo representa, por um lado, uma vantagem, no que diz respeito à realimentação do lençol freático; por outro, representa uma perda para o sistema agrícola a partir do momento que essa água escapa da zona explorada pelas raízes das plantas cultivadas. Isso reforça a importância, para os SPDCVs da região, de introdução de plantas de cobertura, principalmente daquelas que apresentam capacidade de enraizamento rápido e profundo. Assim, elas serão capazes de aproveitar, em anos mais chuvosos, parte da água drenada abaixo do nível explorado pelas raízes da cultura comercial.

Efeitos sobre a dinâmica do nitrogênio

Foi conduzido um experimento em meio controlado, no qual foi comparada a dinâmica do nitrogênio num sistema SPDCV que utilizou a seqüência arroz – braquiária + sorgo, com a do manejo convencional de uma cultura do arroz cultivado em solo preparado com arado de disco (REYES GOMEZ et al., 2002). Primeiro, caracterizou-se, de maneira dinâmica, a oferta de nitrogênio do sistema “solo-resíduo” ao longo de todo o ciclo, tendo sido acompanhada a mineralização *in situ* de cada um desses compartimentos. Em seguida, foi realizado um balanço global durante o ciclo completo do arroz. Esses resultados estão apresentados na Tabela 2. As condições físicas de temperatura e de umidade, acompanhadas durante o estudo, foram sempre mais favoráveis no SPDCV. Dessa maneira, a mineralização da matéria orgânica foi mais intensa na camada de 0 a 20 cm e, conseqüentemente, disponibilizou mais nitrogênio para a planta nessa camada. Por sua vez, observou-se que a degradação dos resíduos da planta de cobertura apresentou duas fases distintas: uma com taxa de mineralização elevada, que acontece logo no primeiro mês da estação chuvosa, e outra até o final do ciclo, que acontece de forma menos intensa.

De maneira geral, constatou-se que um terço do nitrogênio presente nos resíduos foi restituído ao sistema durante o ciclo do arroz (REYES GOMEZ, 2002).

Um estudo complementar realizado em laboratório mostrou que não houve diferença significativa entre a velocidade de decomposição dos resíduos que permanecem sobre a superfície e a dos que são enterrados no solo (ABIVEN et al., 2002). No entanto, tal comportamento poderia ser modificado no caso de resíduos com forte relação C/N, carecendo, portanto, de confirmação em condições do campo.

Tabela 2. Balanço de nitrogênio mineral durante o ciclo do arroz de sequeiro nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto (SPDCV) (REYES GOMEZ et al., 2002).

Tratamento	Convencional		SPDC	
	kg N ha ⁻¹			
N mineral inicial (0 a 120 cm)	189	(50)*	34	(16)
N mineral final (0 a 120 cm)	47	(11)	86	(26)
Estradas				
Fertilização	93	(10)	139	(10)
Mineralização	121	(20)	187	(20)
Degração dos resíduos			60	(30)
Saídas				
Consumo das plantas	91	(11)	156	(28)
Volatilização + escoamento	37	(10)	56	(10)
Lixiviação	228	(50)	122	(50)

* O desvio-padrão é o valor entre parêntesis.

No início da estação chuvosa, no tratamento convencional com revolvimento do solo e sem planta de cobertura, foi encontrada grande quantidade de nitrogênio mineral no solo. Esse nitrogênio é resultado da atividade de mineralização do fim da última estação chuvosa. Nesse caso, ou ele não foi aproveitado em virtude da ausência de uma cultura em crescimento no sistema convencional, ou, então, foi pouco utilizado pelas plantas daninhas.

Esse grande estoque inicial de nitrogênio, somado aos produtos da forte mineralização do início do ciclo, não pode ser completamente aproveitado pela

cultura do arroz na sua fase inicial de crescimento. Por isso, nessa fase do ciclo da cultura, quando as chuvas geralmente são intensas, observaram-se fortes lixiviações desse elemento no sistema convencional.

No SPDCV, pelo contrário, observou-se um perfil com um nível mais baixo de nitrogênio mineral, pois, nesse sistema, as plantas de cobertura (braquiária + sorgo) absorveram grande parte dos nutrientes disponibilizados no solo para a produção de biomassa, os quais, em seguida, foram restituídos pela decomposição dos resíduos. Embora a probabilidade de drenagem seja mais elevada pelo SPDCV, a reciclagem do nitrogênio via planta de cobertura permitiu diminuir em mais de 30% as perdas totais por lixiviação desse elemento durante todo o ciclo do arroz (REYES GOMEZ et al., 2002). Esse benefício é particularmente estratégico quando se trata de sistemas muito intensivos, que tendem a usar quantidade importante de nitrogênio para a produção de cereais.

Efeitos sobre a dinâmica de carbono

Assim como ocorreu em nitrogênio, as condições de mineralização das matérias orgânicas do solo e dos resíduos são geralmente mais favoráveis nos SPDCVs. Um estudo sobre a emissão de gás de efeito estufa, em diferentes tipos de sistemas de cultura, mostrou que, no sistema convencional, logo após a operação de revolvimento do solo, as emissões de CO₂ resultantes da atividade microbiana atingiram um pico importante, que durou 2 a 3 dias, quando comparadas com as dos tratamentos sem revolvimento do solo (METAY et al., 2003). De acordo com outros estudos, as principais fontes causadoras dessas emissões são a oxigenação do perfil e a ação dos implementos agrícolas sobre os agregados, que torna a matéria orgânica do solo mais acessível e libera o CO₂ preso nos espaços porosos (REICOSKI, 1997). Ao contrário, após de uma chuva copiosa (30 mm), as emissões em tratamentos convencionais foram nulas durante várias horas, enquanto, no SPDCV, as emissões voltaram a acontecer imediatamente. O uso intensivo de implementos agrícolas durante vários anos favorece a formação de uma camada adensada, também conhecida como “pé de grade”, que dificulta a drenagem da água, mantém os macroporos saturados e limita temporariamente as trocas gasosas (METAY et al., 2003).

Em geral, quando se analisou todo o ciclo anual, observaram-se mais atividade e maior emissão de CO₂ no SPDCV. Porém, em termos de balanço

anual de carbono, essas emissões são amplamente compensadas pelas restituições orgânicas proporcionadas por esses sistemas. Realmente, se apenas um cultivo de soja permite restituir ao solo 4 a 5 t de matéria seca.ha⁻¹.ano⁻¹, e se um cultivo de milho restitui de 10 a 12 t de matéria seca.ha⁻¹.ano⁻¹, pode-se observar que os SPDCVs com o cultivo seqüencial de duas culturas, com plantas de cobertura eficientes – como braquiária, sorgo, milho ou associações –, permite restituir até 20 t de matéria seca.ha⁻¹.ano⁻¹ (STEINER, 1994). A atividade fotossintética do sistema durante todo o ano é mais eficiente e aproveita ao máximo os recursos climáticos, como a radiação global e a água e os elementos minerais disponíveis durante todo o ciclo.

Essa dinâmica anual tem obviamente importantes repercussões a longo prazo. Para analisar esse aspecto, foi realizado um estudo sincrônico numa crono-seqüência cronológica de parcelas sob SPDCVs implantados em vários anos. A área escolhida para a condução desse trabalho foi o município de Rio Verde, localizado no sul do Estado de Goiás, por apresentar condições edafoclimáticas próprias do Cerrado brasileiro. Nessa região, os SPDCVs foram adotados há mais de 15 anos.

Foram consideradas 28 parcelas cultivadas em SPDCV, com 0 a 12 anos de existência, todas situadas nas partes mais altas da topo-seqüência, com predominância de Latossolo Vermelho-Escuro e textura argilosa (50% a 70% de partículas menores do que 20 µm). Os SPDCVs aplicados nessas parcelas contaram basicamente com a soja como primeiro cultivo, geralmente seguida por um de milho, sorgo ou milho (SCOPEL et al., 2003). Foram calculados os estoques de carbono na profundidade 0 a 20 cm, em três pontos de cada parcela. Os conteúdos de C foram analisados pelo método de Walkley e Black, enquanto as densidades aparentes foram estimadas a partir de estudos prévios realizados na região (OLIVER et al., 2002).

Constatou-se aumento significativo do conteúdo de carbono do solo em decorrência da idade do SPDCV com taxa média de crescimento da ordem de 0,750 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Fig. 1). Em razão do erro de estimativa de 25%, ainda não se pode afirmar, com base nesses dados, se a tendência de armazenamento é contínua no período dos 12 anos estudados, ou se é mais importante nos primeiros anos, com uma tendência de saturação após 8 ou 10 anos. Efetivamente, em outro estudo realizado no Estado de Mato Grosso, que apresenta condições climáticas mais úmidas, foram observados resultados mais expressivos, nos

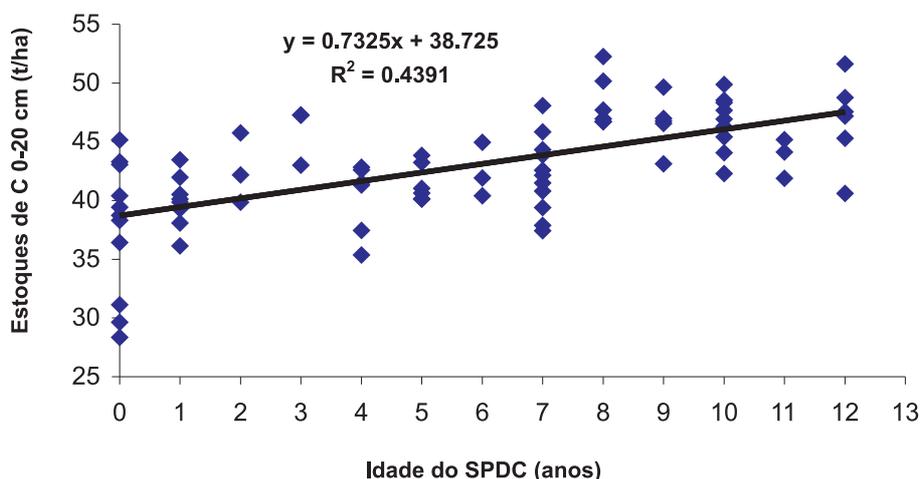


Fig. 1. Relação entre os estoques de carbono na camada 0 a 20 cm e a idade do SPDCV em 28 parcelas de produtores manejadas de maneira similar, no município de Rio Verde, GO.

quais a taxa média de armazenamento de carbono no solo, num SPDCV com 5 anos de idade, foi da ordem de $1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Isso aconteceu basicamente por conta da grande capacidade de produção de biomassa do sistema nessa região (BERNOUX, et al., 2005). Portanto, confirma-se que a capacidade de esses sistemas armazenarem mais carbono está ligada diretamente a sua capacidade de produção e de restituição de biomassa. Os SPDCV muito intensivos, que usam grandes quantidades de adubos e incorporam plantas de coberturas mais produtivas, serão os mais eficientes, em longo prazo, para armazenar C e N orgânicos no solo.

CONCLUSÕES

Nas condições tropicais e úmidas do Cerrado, os SPDCVs demonstraram ser mais eficientes tanto no controle da erosão do solo quanto na diminuição dos custos de produção, razão pela qual foram adotados pela grande maioria dos produtores. Além do mais, eles permitem uma melhor valorização dos recursos disponíveis durante todo o ano. Embora os estudos realizados até o

presente momento estejam ainda incompletos, já permitem destacar a importância de introdução, no sistema, de um segundo ciclo de cultura que, dependendo das condições climáticas, pode ser comercial ou apenas uma planta de cobertura para produzir biomassa e, conseqüentemente, proteger melhor o solo.

O recurso pluviométrico é mais bem valorizado durante toda a estação chuvosa graças à redução do escoamento superficial e à evaporação direta do solo e pela utilização da água profunda. O nitrogênio é administrado de forma eficiente pela reciclagem das plantas que crescem ao longo da estação chuvosa. As quantidades elevadas de biomassa que são restituídas ao solo contribuem para um balanço positivo de carbono e para o aumento significativo da matéria orgânica do solo ao longo do tempo. Os SPDCVs permitem melhorar a produção agrícola, mesmo em pouco tempo, pois esses sistemas são eficientes na otimização dos recursos naturais disponíveis. Além do mais, eles também contribuem para minimizar os impactos dessa produção agrícola sobre o meio ambiente, pela redução da erosão do solo e da lixiviação de nitrato, e também pelo seqüestro do carbono no compartimento do solo. Esses sistemas representam, sem dúvida, um importante recurso de garantia da durabilidade da produção agrícola em zona tropical úmida, embora alguns pontos ainda sejam questionados. Em termos de balanço ambiental – principalmente em SPDCVs mais intensivos, que usam muitos agrotóxicos –, os requisitos energéticos para fabricar esses produtos poderiam anular as vantagens do balanço positivo de carbono. Poderiam também ter conseqüências negativas, poluindo o meio ambiente o alterando a qualidade dos produtos consumidos pelos cidadãos em caso de uso inadequado. Outro fato importante é que ainda não se conhecem quais são as reais possibilidades de extrapolação dos efeitos descritos anteriormente para SPDCV menos intensivos, particularmente para os aplicados nas condições variadas e limitadas da agricultura familiar dessa mesma região.

AGRADECIMENTOS

A M. Corbeels, L. Séguy, V. Reyes Gómez, F. Maraux, R. Oliver e A. Metay, do Cirad; F. Lafolie e S. Recous, do Inra; C. C. Cerri e M. Siqueira Neto, do Cena-USP e C. Feller, do IRD, pela sua participação neste grande projeto multidisciplinar.

REFERÊNCIAS

- ABIVEN, S.; RECOUS, S.; REYES GOMEZ, V.; OLIVER, R. Impact of residue quality and location in soil on the C and N mineralisation of residues from cropping systems from Cerrados, (Brazil). In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., September, 2002, Bangkok, Thailand.; CONFRONTING NEW REALITIES IN THE 21 ST CENTURY, August, 2002, Bangkok, Thailand., **Proceedings**: Bangkok : Kasetsart University, 2002.
- ANDERSON, S.; GÜENDEL, S.; POUND, B.; TRIOMPHE, B. **Cover crops in Smallholder Agriculture**: lessons from Latin America. London, UK: IT Publications, 2001.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; SIQUEIRA NETO, M.; METAY, A.; PERRIN, A. S.; SCOPEL, E.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. D. E. C.; PAVEL, M.; MILNE, E. Influence of direct seeding mulch based cropping systems on carbon sequestration and erosion in Brazil. Accepted in **Agronomy for sustainable Agriculture**, Avignon, 2005. Não publicado.
- BRISSON, N.; MARY, B.; RIPOCHE, D.; JEUFFROY, M. H.; RUGET, F.; NICOULLAUD, B.; GATE, P.; DEVIENNE-BARRET, F.; ANTONIOLETTI, R.; DURR, C.; RICHARD, G.; BEAUDOIN, N.; RECOUS, S.; TAYOT, X.; PLENET, D.; CELLIER, P.; MACHET, J. M.; MAYNARD, J. M.; DELÉCOLLE, R. STICS : A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I, Theory and parameterization applied to wheat and corn, **Agronomie**, Avignon, v.18, p.311-346, 1998.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno., Londrina: IAPAR, 1992. 80 p. (Circular, 73)
- FEBRAPDP. Federação brasileira de plantio direto na palha . 2003. Disponível em: <www.febrapdp.org.br>. Acesso em: 10 nov. 2003.
- KEMPER, B.; DERPSCH, R. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, p. 253-267, 1981.
- LAFOLIE, F. Modelling water flow, nitrogen transport and root uptake including physical non-equilibrium and optimization of the root water potential. **Fertilizer Research**, Hague, v. 27, p. 215-231, 1991.
- METAY, A.; OLIVER, R.; DOUZET, J. M.; BERNOUX, M.; FELLER, C.; FEIGL, B.; RODRIGUES, A.; MOREIRA, J. A.; SCOPEL E. Short-term evolution of C-CO₂ in

E. Scopel et al.

conventional and no till system for a Brazilian oxisol: effect of tillage and rainfall. In: **WORLD CONGRESS ON SUSTAINABLE AGRICULTURE**, 2., 2003, Foz do Iguaçu, Brazil. **Proceedings...** Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2003. v. II, Posters, p 6-9

OLIVER, R.; DOUZET, J.M.; SCOPEL, E.; BLANCHART, E.; CURMI, P.; ALVES MOREIRA, J. A.; MINETTE, S.; GUERIN, P.; FORTIER, M.; MARAUX, F. Medium term impact of no tillage on some physical properties of a Brazilian oxisoil of Cerrados (tropical humid savannah of central Brazil). In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 17., Bangkok, Thailand, September, 2002.; **CONFRONTING NEW REALITIES IN THE 21ST CENTURY**, 14-21 August, 2002, Bangkok, Thailand. **Proceedings...** Bangkok: Kasetsart University, 2002. 1 CD-ROM

RAO, K.; STEENHUIS, T.; COGLE, A.; SRINIVASAN, S.; YULE, D.; SMITH, G. Rainfall infiltration and runoff from an alfisol in semi-arid tropical India. I. No-till systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, p. 51-59, 1998.

REICOSKI, D.C. Tillage-induced CO₂ emissions from soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, p. 273-285, 1997.

RESCK, D. V. S.; VASCONCELLOS C. A.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M. Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, J. M. R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Ed.). **Global climatic change and tropical ecosystems**. New York: Lewis Publishers, 2000. p. 169-196

REYES GOMEZ, V. Quantification et modélisation des flux hydriques, thermiques et azotés dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale dans la région des Cerrados brésiliens. 2002. 204 f. Thèse (doctorat) – Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France, 2002.

REYES GOMEZ, V.; FINDELING, A.; MARLET, S.; OLIVER, R.; MARAUX, F.; ALVES MOREIRA, J. A.; DOUZET, J. M.; SCOPEL, E.; RECOUS, S. Influence of no-tillage and cover plants on water and nitrogen dynamics in the Cerrados (Brazil). In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 17., Bangkok, Thailand, September, 2002.; **CONFRONTING NEW REALITIES IN THE 21ST CENTURY**, 14-21 August, 2002, Bangkok, Thailand.. **Proceedings...** Bangkok: Kasetsart University, 2002. 1 CD-ROM

SCHOMBERG, H. H.; FORD, P. B.; HARGROVE, W. L. Influence of crop residues on nutrient cycling and soil chemical properties. In: UNGER, P. W. (Ed.). **Managing Agricultural Residues**. Boca Raton: Lewis Pub, 1994. p. 99-121.

Impactos do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (SPDCV) sobre a dinâmica...

SCOPEL, E.; SILVA, F. A. M. da; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F.; MARAUX, F. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. **Agronomie**, Avignon, v. 24, p. 383-395, 2004.

SCOPEL, E.; DOUCENE, N.; PRIMOT, S.; DOUZET, J. M.; CARDOSO, A. N.; FELLER, C. Diversity of direct seeding mulch based cropping systems (DMC) in the Rio Verde region (Goiás, Brazil) and consequences on soil carbon stocks. In: **WORLD CONGRESS ON SUSTAINABLE AGRICULTURE, 2.;** PRODUCING IN HARMONY WITH NATURE, Iguaçu, Brazil, 2003, 10-15 August. **Proceedings...** Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2003. v. II, Posters, p 286-289.

SCOPEL, E.; FINDELING, A. Conservation tillage impact on rainfed maize production in semiarid zones of western Mexico. Importance of runoff reduction. In: **The World Congress on Conservation Agriculture, 1.;** Conservation agriculture, a worldwide challenge, Madrid, 2001, 1-5 October 2001. **Proceedings...** Córdoba: L. Garcia Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela, 2001. vol 2, p.179-184.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A.; CORTEZ, N. A. Brazilian frontier agriculture. **Agriculture et développement**, Montpellier, Special Issue, 64 p. 1998.

SILVA, F. A. M. da. Parametrização e modelagem do balanço hídrico em sistema de plantio direto no cerrado brasileiro. 2004. 210 p. Thèse (Doctorat). – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

STEINER, J. L. Crop residue effects on water conservation. In: UNGER, P. W. (Ed.), **Managing Agricultural Residues**, Boca Raton, Lewis Publishers, p. 41-76, 1994.