

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica

*Lucilia Maria Parron
Junior Ruiz Garcia
Edilson Batista de Oliveira
George Gardner Brown
Rachel Bardy Prado
Editores Técnicos*

Embrapa
Brasília, DF
2015

Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais

Alcione Herminia da Silva; Nerilde Favaretto; Karina Maria Vieira Cavalieri; Jeferson Dieckow; Fabiane Machado Vezzani; Lucília Maria Parron; Verediana Fernanda Cherobim; Juliana Marioti; Henrique Ferrari Neto

Resumo: São apresentados resultados preliminares do estudo sobre a qualidade física do solo e o escoamento superficial no âmbito do projeto ServiAmbi em sistemas de uso e manejo do solo diferenciados como ferramenta para a avaliação de serviços ambientais. As áreas experimentais foram descritas no Capítulo 2. O solo foi coletado nas camadas de 0–5, 5–10, 10–20 e 20–30 cm para determinação da estabilidade de agregados, porosidade (total, macro e micro), densidade do solo e condutividade hidráulica saturada. A infiltração de água no solo foi determinada em campo pelo método de anéis concêntricos. O escoamento superficial (perda de água) foi coletado após cada evento de precipitação. Os sistemas FN, CNnp e EU apresentaram melhor estabilidade de agregados e maior infiltração. No CNp, apesar da elevada estabilidade, observou-se as maiores perdas de água. Entre os sistemas de produção agrícola, o iLP apresentou menor perda de água enquanto o sistema iLPF se destacou na estabilidade de agregados em profundidade. O sistema PD apresentou os menores índices de estabilidade de agregados, sugerindo comprometimento da sua estrutura. De modo geral, pode-se considerar que o aumento da capacidade dos solos em fornecer serviços ambientais é dependente do grau de complexidade ecológica do sistema.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos, qualidade da água, qualidade do solo, sistemas integrados conservacionistas.

Soil physical attributes and runoff as indicators of environmental and ecosystem services

Abstract: This chapter presents preliminary results of the evaluation of soil physical quality and runoff as part of the ServiAmbi project, in different land use and soil management systems as a tool for the assessment of environmental and ecosystem services. The experimental areas are located in Ponta Grossa-PR and include seven land use and management systems: integrated cropping–livestock (iLP); integrated cropping–livestock–forestry (iLPF); grazed native grassland (CNp); no-tillage cropping (PD); eucalyptus plantation (EU); ungrazed native grassland (CNnp) and native forest (FN). Soil was sampled at 0–5, 5–10, 10–20 and 20–30 cm for determination of aggregate stability, porosity (total, macro and micro), bulk density and saturated hydraulic conductivity. Water infiltration was determined in the field using a concentric ring infiltrometer. Runoff (water loss) was collected after each rainfall event. The FN, CNnp and EU systems had higher aggregate stability and greater infiltration. Despite of its better soil structure, CNp had the highest water loss. Among the agricultural systems, iLP had lower water losses, while the iLPF system stood out in terms of its aggregate stability in deeper soil layers. The PD system had the lowest aggregate stability index suggesting impairment in its structure. Overall, we can consider that the increase in ability of the soil to provide ecosystem services is dependent on the degree of ecological complexity of the system.

Keywords: water quality, soil quality, integrated conservation systems.

1. Introdução

A qualidade do solo, definida como a capacidade de sustentar a produtividade agrícola, manter a qualidade do ambiente e garantir a saúde humana, animal e das plantas (DORAN; PARKIN, 1994), está diretamente relacionada aos serviços ambientais provenientes do solo (PALM et al., 2013), sendo estes fortemente influenciados pelo seu uso e manejo (LAL et al., 1999). A avaliação da qualidade do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009) e, por conseguinte, do fornecimento de serviços ambientais pode ser realizada de várias formas, dentre elas a análise de um conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos (AMADO et al., 2007; DORAN; PARKIN, 1994; SOIL..., 1998).

Para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis é fundamental a compreensão e quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física (DEXTER; YOUNGS, 1992). Por isso, indicadores físicos da qualidade do solo (CAVALIERI et al., 2011; REYNOLDS et al., 2002; SILVA et al., 2010; TORMENA et al., 1998) têm sido investigados nas diferentes condições de uso e manejo e são fundamentais para entender os processos de degradação dos solos e o potencial de contaminação das águas (HAYGARTH; JARVIS, 2002; RAMOS et al., 2014).

A estrutura e infiltração, os quais afetam diretamente a perda de água e de solo e, conseqüentemente, a qualidade da água, são atributos físicos recomendados na avaliação da qualidade do solo com ênfase na capacidade de resistir à ação de agentes erosivos (KARLEN; STOTT, 1994; LAL, 1999). Além de interferir na resistência à desagregação, esses atributos influenciam na disponibilidade de água e ar para as plantas, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular (HILLEL, 1980; PALMEIRA et al., 1999). A qualidade estrutural e conseqüentemente a porosidade, densidade, estabilidade de agregados e infiltração de água no solo são afetados pelo uso e manejo do solo (ABREU et al., 2004; FIDALSKI et al., 2008; LANZANOVA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2004; REYNOLDS et al., 1994). Se por um lado as boas práticas de uso e manejo do solo melhoram sua qualidade (DERPSCH et al., 1991; FREITAS et al., 2012; SILVA et al., 2003; STEFANOSKI et al., 2013; TRINDADE et al., 2012), por outro a compactação, a falta de cobertura vegetal e o pequeno aporte de matéria orgânica no solo são as principais causas da degradação dos solos agrícolas (CANILLAS et al., 2002; RICHART et al., 2005; SORAES et al., 2005).

A atividade agrícola apresenta um grande potencial de degradação ambiental (ESCASSEZ..., 2011; LAL, 1999;

OLDEMAN, 1994; SHARPLEY, 2002) e, portanto, nas últimas décadas, sistemas de uso e manejo do solo com vistas a conservação do solo e da água, têm sido intensivamente recomendados (HAYGARTH; JARVIS, 2002). Dentre os sistemas conservacionistas do solo e da água se destacam os que reduzem o revolvimento do solo, promovem adequada proteção superficial e aumentam o teor de matéria orgânica do solo (DERPSCH et al., 1991). A melhoria da estrutura do solo (CASTRO FILHO et al., 1998; JIAO et al., 2006) e o aumento na infiltração da água (PANACHUKI et al., 2011; SASAL et al., 2010) contribuem para a diminuição do escoamento superficial (CASSOL; LIMA, 2003; MELLO et al., 2003; VOLK et al., 2004). Sistemas agrícolas que reduzem o escoamento superficial estão contribuindo para a redução das perdas de solo e conseqüentemente o transporte de poluentes do solo para a água (HATCH et al., 2002) atuando de forma positiva quanto aos aspectos agronômicos e ambientais (FOLLETT; STEWART, 1985).

Para assegurar altos níveis de produção agrícola, elevadas taxas de fertilizantes orgânicos e inorgânicos são adicionadas, provocando excedentes que podem ser levados aos corpos d'água (SHARPLEY et al., 2001; SHIGAKI et al., 2006). Neste aspecto, a agricultura tem se destacado como forma não pontual (difusa) de poluição das águas (SHARPLEY, 2002).

A contaminação das águas por atividades agrícolas ocorre, principalmente, pelo nitrogênio e fósforo provenientes de fertilizantes minerais e orgânicos, carregados via superfície ou subsuperfície (neste caso, em especial para o N) (HATCH et al., 2002; LEINWEBER et al., 2002). Em águas superficiais, estes elementos aceleram o processo de eutrofização e comprometem a qualidade da água, sendo P o elemento limitante, uma vez que o N pode ser incorporado da atmosfera via fixação por algas verde-azuladas (DANIEL et al., 1998). O nitrogênio, além de estar associado à eutrofização, causa problemas a saúde humana e animal (CHAPMAN, 1996). O carbono na água também é um elemento poluente, pois afeta a disponibilidade de oxigênio dissolvido e causa problemas devido aos trihalometanos, compostos cancerígenos formados no processo de cloração, em sistemas de tratamento de água para abastecimento humano (KAY et al., 2009).

No Brasil, a preocupação da conservação do solo e da água se iniciou principalmente com a adoção do sistema de plantio direto iniciado nos anos 70 no Sul do país. Nos últimos 20 anos, observa-se a consolidação desta prática e o avanço da complexidade ecológica desse sistema quando se associa plantio

direto com pecuária (integração lavoura-pecuária) (MORAES et al., 2002) e floresta (integração lavoura-pecuária-floresta) (BALBINO et al., 2011). Assim, dentro desses sistemas produtivos de maior complexidade, os componentes da produção agrícola, florestal e animal interagem, contribuindo para a sustentabilidade ambiental (ALVARENGA et al., 2010). O solo é um sistema aberto, com permanente troca de matéria e energia com o meio, e a complexidade ecológica do sistema ocorre em função das relações entre os subsistemas que o compõem, representados pelos vegetais, organismos (macro e microrganismos) e matéria mineral (LOVATO et al., 2004; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). O grande desafio da agricultura sustentável é buscar a produtividade, conservando os recursos naturais (solo, água e biodiversidade). Nesse sentido, a complexidade dos sistemas agrícolas deve ser considerada.

A demanda pelo desenvolvimento e utilização de sistemas agrícolas conservacionistas com capacidade de manutenção da qualidade do solo ocorre em função da busca por sustentabilidade agrícola e ambiental, que alia índices de produtividade com melhoria das funções e serviços ambientais. Portanto, ligações de interdependência entre produção de alimentos e outros serviços ambientais devem ser avaliadas. A adoção de práticas de gestão sustentáveis pode ser promovida através da valoração econômica e do pagamento por serviços ambientais como instrumento de conservação (WUNDER, 2007), como por exemplo sequestro de carbono, recursos hídricos e conservação da biodiversidade. Os solos fornecem uma variedade de serviços ambientais que podem ser classificados nas categorias de suporte e de provisão de serviços (Capítulo 1).

A agricultura conservacionista se destaca em relação à agricultura convencional em vários aspectos. Palm et al. (2013) destacam a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que inferem uma melhor qualidade dos recursos água e ar. No entanto, a qualidade dos serviços ambientais fornecidos pela agricultura conservacionista varia de acordo com uma série de fatores, entre eles, clima, solos e culturas, o que evidencia a necessidade de estudos para fortalecer a avaliação dos serviços ambientais provenientes da agricultura.

A avaliação dos serviços ambientais com vistas à valoração econômica está sujeita a debates e controvérsias (ENGEL; SCHAEFER, 2013). No entanto, considerando que grande parte dos serviços ambientais globais estão em processo de degradação (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005) fica evidente a necessidade de uma nova abordagem e integração desse tema na política atual. No Brasil, por exemplo, a Agência Nacional de Águas, através do Programa Produtor de Água (AGÊNCIA

NACIONAL DE ÁGUAS, 2014) tem atuado na viabilização dos esquemas de pagamento por serviços ambientais hídricos. A valoração econômica é baseada na redução da perda de solo pelo uso de práticas de conservação, sendo a perda de solo obtida pela aplicação simplificada da equação universal de perda de solo (RODRIGUES et al., 2011).

A necessidade de desenvolver práticas agrícolas que, ao mesmo tempo, promovam a conservação e a utilização dos serviços dos ecossistemas para o desenvolvimento sustentável e para a produção agrícola é, portanto, de grande importância. Neste contexto, este capítulo tem como intuito, discutir a utilização de atributos físicos do solo e do escoamento superficial como indicadores na avaliação de serviços ambientais e apresentar resultados preliminares desses indicadores em diferentes sistemas de uso e manejo do solo nos Campos Gerais do Paraná.

2. Descrição metodológica do trabalho

Conforme descrito no Capítulo 2 (Avaliação dos serviços ambientais no âmbito do projeto ServiAmbi), as áreas de estudo estão situadas em Ponta Grossa-PR, região dos Campos Gerais, Segundo Planalto Paranaense, substrato geológico composto por rochas sedimentares e pertencentes à bacia hidrográfica do rio Tibagi. O clima é o Cfb – clima temperado, mesotérmico com temperaturas médias entre 18 °C e 22 °C sem estação seca definida. A precipitação pluvial total anual é de 1.300 a 1.800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (IAPAR, 1978). Os tipos de solos são Latossolo Vermelho e Cambissolo Háptico. O relevo é suave ondulado, com declividades variando entre 3 e 13%

Sete sistemas de uso do solo foram avaliados: sistema agropastoril integração lavoura-pecuária (iLP) (3 a 10% de declividade), sistema agrossilvipastoril integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) com renques de *Eucalyptus dunnii* (5 a 13%), campo nativo pastejado (CNp) (7 a 11%), plantio florestal de *Eucalyptus dunnii* (EU) (6 a 11%), lavoura em plantio direto (PD) (3 a 9%), campo nativo não pastejado (CNnp) (6-14%), e floresta nativa secundária (FN) (5 a 11%).

Os sistemas iLP, iLPF e CNp estão localizados na Estação Experimental Fazenda Modelo/IAPAR. O iLP e iLPF (UTM 595644S 7220878W) foram implantados há mais de 10 anos e o CNp nunca foi revolvido, porém a presença do gado se estabeleceu há vários anos (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2012). Os sistemas PD e EU (592650S 7219163W) localizam-se na unidade de tecnologia de sementes da Embrapa. As áreas de FN e CNnp pertencem ao Parque Estadual de Vila Velha (Capítulo 2). O delineamento experimental foi o de blocos



incompletos, com sete tratamentos (sistemas) e três repetições. A caracterização mais detalhada das áreas como textura, solos, entre outros podem ser encontradas no Capítulo 4 (Uso e manejo da terra e aspectos pedológicos).

Para avaliação dos atributos físicos do solo, foi aberta uma trincheira em cada parcela para retirada de quatro anéis volumétricos em cada profundidade (0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm). Nas mesmas profundidades foram coletados dois monólitos de solo para análise da estabilidade de agregados. A estabilidade de agregados foi obtida mediante agitação em aparelho do tipo Yoder durante 15 min (CLAESSEN, 1997; KEMPER; ROSENAU, 1986). O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi calculado dividindo o diâmetro médio ponderado úmido pelo seco (DMPu/DMPs). A infiltração da água no solo foi determinada em campo com dois testes para cada parcela, segundo a metodologia com infiltrômetros de anéis concêntricos (BOUWER, 1986). A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986) e a densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico (CLAESSEN, 1997). A porosidade total (Pt) foi obtida pela umidade de saturação. A microporosidade foi determinada em mesa de tensão ajustada para -6 KPa e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A condutividade hidráulica saturada (Ksat) foi obtida pelo método da carga decrescente (REYNOLDS; ELRICK, 2002), com adaptações do método descrito em Cavalieri (2007).

Para a coleta do escoamento superficial nas áreas sob iLP, iLPF, CNp e EU foram instaladas parcelas com dimensões de 10 m de comprimento por 3,8 m largura, delimitadas por chapas galvanizadas de zinco com 10 cm de altura, enterradas 5 cm no solo. Na parte inferior da parcela foi conectado um sistema coletor com capacidade de 120 L. A implantação das parcelas coletoras de escoamento foi em novembro de 2012 e as amostragens do escoamento superficial ocorreram entre fevereiro de 2013 a junho de 2014. O volume de água coletado em cada parcela foi transformado em mm através da relação volume de água coletado/área da unidade experimental.

3. Resultados da avaliação dos atributos físicos do solo e escoamento superficial

Analisando os dados de estabilidade de agregados (Figura 1a, 1b e 1c) observa-se, que apesar da maior deposição de material orgânico sobre o solo e maior diversidade de vegetação, as áreas FN, CNnp, CNp e EU apresentaram menores valores de DMPs e DMPu em todas as profundidades. Nestes sistemas, a percentagem de argila é menor comparada

aos sistemas de produção agrícola (iLP, iLPF e PD) (ver Capítulo 4), o que possivelmente afetou a formação de agregados. A agregação é afetada diretamente pela presença da matéria orgânica, porém variável com a textura e mineralogia dos solos (BAYER; MIELNICZUK, 2008). O teor de argila exerce forte influência na agregação dos solos, devido à elevada superfície específica e à presença de cargas negativas permanentes (DUFRANC et al., 2004). Portanto, mesmo pequenas variações na fração argila podem interferir na formação dos agregados e conseqüentemente no diâmetro médio ponderado (DUTARTRE et al., 1993).

O índice de estabilidade de agregados (IEA) obtido pela relação DMPu/DMPs (Figura 1c), diferente dos resultados de diâmetro médio ponderado, mostra que a complexidade ecológica dos sistemas teve grande importância na estabilização dos agregados (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). A possível influência da textura no tamanho de agregados não foi observada no índice de estabilidade de agregados. Os sistemas CNp, CNnp e FN apresentaram ao longo do perfil amostrado (0-30 cm) os maiores valores e uma menor variação do IEA em relação aos sistemas PD, iLP e iLPF, mostrando a melhor qualidade estrutural do solo, provendo assim vários benefícios associados a esse serviço ecossistêmico. O CNnp e FN são considerados sistemas de referência e, portanto, esperava-se maior índice de estabilidade de agregados em comparação com os sistemas de uso agrícola. O maior IEA no CNp, EU, FN e CNnp (Figura 1c) indica melhor estabilidade, possivelmente pelo elevado aporte de fitomassa e não revolvimento do solo comparado aos sistemas agrícolas, mesmo sob plantio direto e integração. De forma geral, nessas condições, observa-se o aumento dos teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, o aumento da agregação do solo (TISDALL; OADES, 1982). O CNp, apesar de pastejado, demonstrou potencial para a manutenção da estabilidade dos agregados (Figura 1c). Costa et al. (2009), ao trabalharem em um Cambissolo Húmico avaliando as propriedades físicas do solo durante a transição do campo nativo pastejado para integração lavoura-pecuária no sistema plantio direto, constataram que, comparado ao preparo convencional, a transição preservou a qualidade física do solo, enquanto que para o preparo reduzido o desempenho foi intermediário. Entre os sistemas agrícolas, o PD apresentou menor índice de estabilidade em profundidade (10-30 cm) (Figura 1c). Analisando os sistemas integrados, observa-se uma tendência de melhor estabilidade no iLP nas camadas superficiais (0-10 cm), enquanto que em profundidade (10-30 cm) o iLPF apresenta maior estabilidade (Figura 1c).

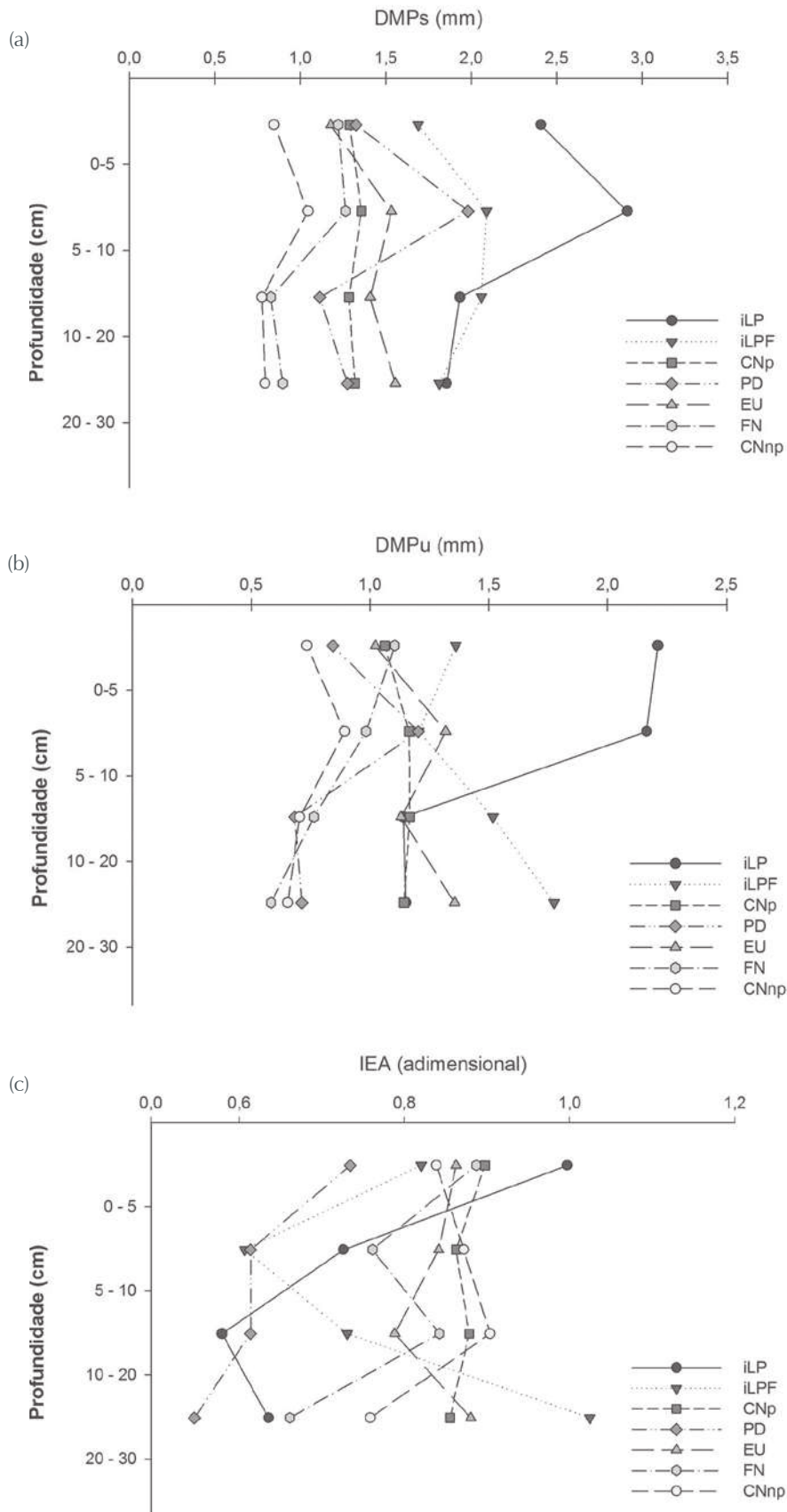


Figura 1. Diâmetro médio ponderado seco (DMPs), diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nos sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); campo nativo pastejado (CNp); reforestamento de eucalipto (EU); mata nativa preservada (FN) e campo nativo preservado (CNnp).

A infiltração de água no solo (REICHERT et al., 2003) é um dos principais atributos utilizados na avaliação da qualidade física. Com relação à taxa final de infiltração de água no solo foi possível observar variações entre os sistemas de uso e manejo (Figura 2). De um modo geral, os tratamentos com produção agrícola (PD, iLP e iLPF) apresentaram infiltração inferior aos sistemas não agrícolas (EU, CNp, CNnp e FN). Como esperado, os sistemas FN e CNnp, que se encontram sob preservação, proporcionaram os maiores valores de infiltração (Figura 2). Já nos sistemas agrícolas (PD, iLP e iLPF), o movimento da água no solo foi similar entre eles (Figura 2), apesar do sistema PD apresentar piores condições estruturais. Este resultado, porém,

não deve minimizar a importância dos sistemas integrados, pois outros atributos físicos, químicos e biológicos serão beneficiados pela maior complexidade ecológica, culminando com a melhoria dos serviços ambientais prestados (PALM et al., 2013).

O efeito do manejo do solo sobre a taxa final de infiltração é evidenciado em vários estudos (ALVES; CABEDA, 1999; BERTOL et al., 2001), tendo uma grande contribuição à quantidade e qualidade dos restos culturais. Além do manejo, a textura também apresenta um papel importante, pois solos com maior proporção de areia resultam em maior volume de macroporos, aumentando assim a capacidade de infiltração de água no solo (KLEIN, 2012).

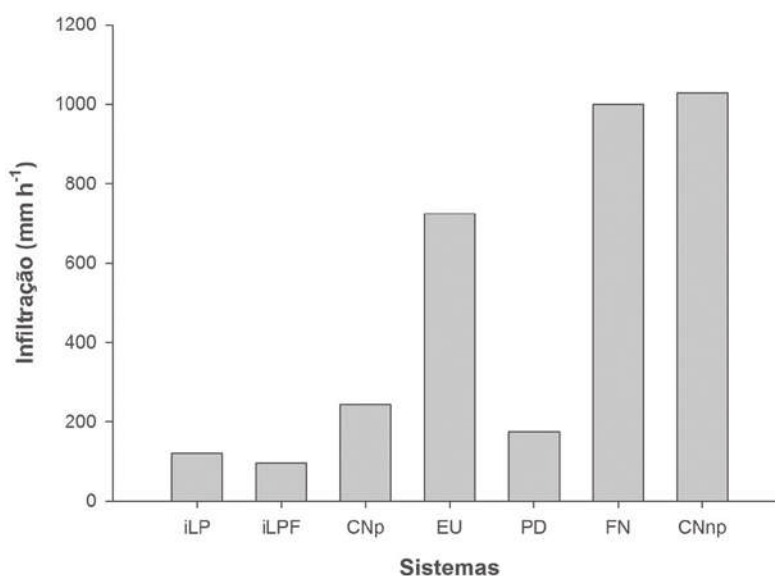


Figura 2. Taxa final de infiltração de água no solo nos sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); campo nativo pastejado (CNp); reflorestamento de eucalipto (EU); mata nativa preservada (FN) e campo nativo preservado (CNnp).

Para os demais atributos físicos do solo, analisados somente nos sistemas CNp, iLPF e iLP, esperava-se os melhores resultados nos sistemas com menor revolvimento do solo, maior potencial de produção de biomassa e cobertura do solo e menor pisoteio animal, seguindo a ordem: CNp > iLPF e iLP. Cada sistema apresentou comportamento diferente em relação aos atributos analisados (Tabela 1), porém, de forma geral, a hipótese mencionada anteriormente foi confirmada. Os valores de densidade do solo para os sistemas iLPF e CNp foram próximos e superiores ao iLP nas camadas superficiais (0-10 cm), mas os valores tenderam a diminuir em profundidade no CNp, que apresentou o menor valor (1,38 Mg m⁻³) na camada de 20-30 cm, e tenderam a aumentar no iLPF (1,58 Mg m⁻³), indicando efeito do manejo nas diferentes profundidades. Valores de densidade de solo em torno de 1,65 g cm⁻³

para solos arenosos e 1,45 g cm⁻³ para solos argilosos têm sido associados à alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento do sistema radicular das plantas (ARAUJO et al., 2004).

No campo nativo, apesar da presença do animal, o sistema radicular das plantas possivelmente contribuiu para a redução da densidade, relacionando-se positivamente com o índice de estabilidade de agregados (Figura 1c). A presença dos animais no campo nativo (CNp) parece não resultar na diminuição da qualidade física do solo. Entretanto, deve-se considerar que qualquer sistema com excesso de carga de animais e máquinas tem potencial para comprometer a qualidade física do solo. Apesar da manutenção da qualidade de alguns atributos físicos, observações em campo permitem ressaltar a fragilidade do sistema CNP, com presença de sulcos causados pelo sobrepastoreio animal.

O aumento da densidade do solo implica geralmente na redução da aeração (macroporosidade) e, conseqüentemente, na permeabilidade de água no solo. Considerando os sistemas iLPF e CNp, observa-se uma relação positiva entre macroporosidade e condutividade hidráulica saturada (Ksat) (Tabela 1). Dexter et al. (2004), mencionam que há relação direta entre volume de poros e a permeabilidade da água no solo. Porém, os valores de condutividade hidráulica saturada e de infiltração obtidos nos sistemas iLP e iLPF (Tabela 1 e Figura 2) podem ser resultado da influência não apenas da porosidade total, como também da distribuição e do tamanho de poros no perfil do solo (KLEIN; LIBARDI, 2002). Santos et al. (2011) constataram que a condutividade hidráulica nas camadas superficiais tem sido afetada por sistemas de manejo, provavelmente pelo acúmulo de vegetação, ocasionando uma alteração na continuidade de poros pela maior atividade biológica.

O ksat variou entre os sistemas iLP e iLPF, apesar do manejo semelhante dessas áreas. O iLP apresenta maior

teor de argila em relação ao iLPF (162 g kg⁻¹ de argila no iLP e 123 g kg⁻¹ no iLPF), o que possivelmente refletiu na maior porcentagem de microporos e menor condutividade hidráulica (Tabela 1). Em razão de pequenas diferenças granulométricas e mineralógicas, as diferentes condições de uso e manejo podem apresentar amplitude nos valores de atributos físicos, dificultando a comparação entre os sistemas (KLEIN, 2012). Além destes fatores, a descontinuidade dos poros e a presença de bioporos tem grande influência nos resultados de condutividade hidráulica saturada (KLEIN; LIBARDI, 2002). Os maiores valores de Ksat no sistema CNp (Tabela 1) podem ser devido à influência de bioporos presentes na área, concordando com as observações de Zagatto (2014), que avaliou aspectos da qualidade biológica deste sistema. Conclusões sobre os resultados de Ksat devem também considerar sua elevada variabilidade, o que tem sido reportada em vários estudos. Segundo Mesquita e Moraes (2004), a Ksat geralmente apresenta alta variabilidade com coeficientes de variação acima de 70%.

Tabela 1. Atributos físicos do solo nos sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e campo nativo pastejado (CNp).

Atributos	Sistemas		
	iLP	iLPF	CNp
0-5 cm			
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,48	1,52	1,50
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)	0,48	0,53	0,55
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,15	0,20	0,20
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,33	0,33	0,35
Ksat (mm h ⁻¹)	83,0	364,2	194,5
5-10 cm			
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,56	1,57	1,48
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,46	0,48	0,54
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,15	0,21	0,20
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,31	0,27	0,34
Ksat (mm h ⁻¹)	129,3	231,1	254,3
10-20 cm			
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,49	1,58	1,45
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)	0,50	0,52	0,56
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,18	0,21	0,25
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,32	0,31	0,31
Ksat (mm h ⁻¹)	235,1	334,8	895,3
20-30 cm			
Densidade do solo (Mg m ⁻³)	1,48	1,46	1,38
Porosidade Total (m ³ m ⁻³)	0,50	0,55	0,57
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,14	0,26	0,28
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,36	0,29	0,29
Ksat (mm h ⁻¹)	191,5	641,7	339,1

Ksat = condutividade hidráulica saturada.

Com relação à perda de água via escoamento superficial, determinada nos sistemas EU, CNp, iLPF e iLP (Figura 3), esperavam-se maiores perdas na seguinte ordem: iLP e iLPF > CNp e EU, tendo como base a complexidade ecológica do sistema resumida em termos de cobertura do solo, aporte de fitomassa, revolvimento do solo, tráfego de máquinas e pisoteio animal. Nos sistemas com reflorestamento e campo nativo pastejado o solo não é revolvido e fica permanentemente coberto com grande aporte de fitomassa sobre (resíduos) e dentro do solo (raízes). Já nos sistemas integrados com lavoura e floresta (iLP e iLPF), mesmo sendo em plantio direto, a cobertura do solo e o aporte de biomassa são reduzidos e ocorre um pequeno revolvimento superficial em função das hastes sulcadoras das plantadoras no plantio das culturas. Nesses sistemas ocorre também tráfego de máquinas e pisoteio animal.

O sistema EU apresentou os menores valores de perda de água (Figura 3). Contudo, para os demais sistemas, as perdas via escoamento superficial rejeitam a hipótese inicial citada no parágrafo anterior, sendo as maiores registradas na seguinte ordem CNp>iLPF >iLP >EU. Cabe aqui ressaltar que são resultados preliminares obtidos em um curto período de avaliação (primeiro ano). Porém, além deste aspecto, outros fatores devem ser melhor investigados, como por exemplo, o efeito da textura, da declividade e da

distribuição da cobertura durante os principais eventos de precipitação. A declividade, a qual teria um grande impacto no escoamento superficial, é semelhante entre os sistemas, com variação dentro do sistema de 3 a 13% (parcelas de 36,1 m²). No entanto, análises estatísticas devem ser aplicadas para verificar o possível efeito da declividade na perda de água. Analisando-se os dados de perda de água (Figura 3) com os da infiltração da água no solo (Figura 2), observa-se que o sistema CNp apresentou maior infiltração e maior perda de água, comparado ao iLP e iLPF, o que não era esperado. Como mencionado, em observações em campo, foi possível constatar a presença de sulcos pela passagem do animal nesta área, o que poderia explicar o maior escoamento superficial.

No sistema iLPF, a maior perda de água pode ser justificada pela menor infiltração. Conforme apresentado anteriormente, as declividades são semelhantes entre os sistemas, porém no CNp e iLPF a declividade entre os blocos varia de 5 a 13% e 7 a 11%, respectivamente, e no iLP varia de 3 a 10%. Portanto, pode ter influenciado nas maiores perdas de água no CNp e iLPF. Além disso, a variação da cobertura vegetal nos eventos de precipitação, decorrente das diferentes fases da produção agrícola (plantio e colheita), possivelmente também está afetando os resultados de perda de água.

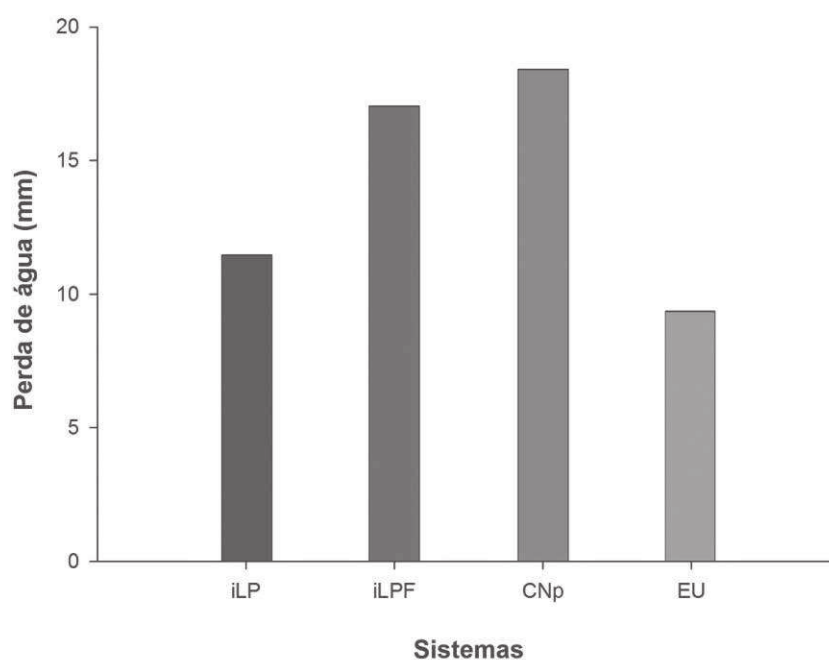


Figura 3. Perda de água (mm) acumulada (fev/2013 a jun/2014) via escoamento superficial nos sistemas de integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); campo nativo pastejado (CNp) e reflorestamento de eucalipto (EU).

Nos sistemas iLPF e iLP, além da carga animal, a carga dos implementos agrícolas também contribui para a possível compactação, comumente observada nas áreas sob plantio direto (CAVALIERI, 2007), favorecendo o escoamento superficial (Figura 3). Aliado a isso, na área sob iLPF, o componente arbóreo aumenta a complexidade desse agroecossistema e pode estar concentrando e direcionando o fluxo superficial nos eventos de intensa precipitação pelo escoamento do tronco (LIMA, 1976). Estudos nesta mesma área confirmam efeitos adversos atribuídos ao componente arbóreo (ZAGATTO, 2014; PERGHER, 2014). Apesar do iLPF apresentar melhores condições estruturais em profundidade em relação ao iLP (Figura 1c), é provável que ocorra na superfície um desgaste pela ação do impacto da gota da chuva, influenciando a perda de água via superfície (Figura 3). No iLPF ocorrem mais macroporos, tanto em superfície como em profundidade (Tabela 1), sendo possível que a água neste sistema, ao invés de passar pela matriz do solo, siga drenos preferenciais (fluxos de macroporos), o que justificaria uma maior condutividade hidráulica, apesar da menor taxa final de infiltração (Figura 2) no iLPF comparado ao iLP.

4. Considerações finais

De modo geral, observa-se que os diferentes sistemas de uso influenciaram nos indicadores da qualidade física do solo e na perda de água via escoamento superficial. Contudo, estes dados precisam ser melhor investigados em relação ao efeito da textura, declividade e distribuição da cobertura vegetal durante os principais eventos de precipitação.

Dentre os sistemas avaliados, os de maior complexidade ecológica (floresta nativa, campo nativo não pastejado, campo nativo pastejado, e plantio florestal de eucalipto), resumidos em termos de cobertura do solo, aporte de fitomassa, revolvimento do solo, tráfego de máquinas e pisoteio animal, apresentaram os melhores resultados em relação aos atributos físicos do solo. O campo nativo pastejado, apesar da presença do animal, demonstrou potencial na manutenção da estabilidade dos agregados. Contudo, observou-se menor infiltração e maiores perdas de água. Entre os sistemas de produção agrícola, observa-se uma tendência de melhor estabilidade no sistema integração lavoura-pecuária, principalmente na camada superficial (0-10 cm), enquanto que o sistema integração lavoura-pecuária-floresta se destacou nas camadas profundas (10-30 cm). O sistema plantio direto apresentou os menores índices de estabilidade estrutural, sugerindo comprometimento na qualidade do solo. Os resultados de perda de água, de um modo geral, apesar do período curto de avaliação, apontam

para uma maior fragilidade dos sistemas campo nativo pastejado e integração lavoura-pecuária-floresta.

A prestação de serviços ambientais pela agricultura sustentável demanda uma abordagem diferenciada sobre as funções do solo, essencial para atender à dupla necessidade de aumentar a produtividade agrícola e diminuir os danos ambientais. Os indicadores utilizados neste estudo para avaliar a prestação de serviços ambientais do solo permitiram identificar que os serviços de suporte são maiores em sistemas sem manejo do que nos sistemas manejados, e que a intensidade do manejo interfere na prestação desses serviços. O manejo conservacionista menos intenso aumenta potencialmente a quantidade de serviços ambientais de suporte, pelo incremento da ciclagem de nutrientes e da fertilidade do solo, da redução da perda de nutrientes via superfície e subsuperfície, assim como os serviços de provisão, pelo aumento da produtividade das culturas.

Agradecimentos

Embrapa Florestas, através do Projeto ServiAmbi (Termo de Cooperação Técnica Embrapa-lapar no. 21500.10/0008-2 e projeto Embrapa-MP2 no. 02.11.01.031.00.01); PPGCS/DSEA-UFPR, IAPAR, EMBRAPA Tecnologia de Sementes (Unidade Ponta Grossa-PR), CAPES, CNPq e Reuni.

Referências

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 519-531, 2004.
- ALVARENGA, R. C.; SILVA, V. P. da; GONTIJO NETO, M. N.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 1-9, 2010.
- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração da água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 735-761, 1999.
- AMADO, T. J. C.; CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. Qualidade do solo avaliada pelo "Soil Quality Kit" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 109-121, 2007.



- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 337-345, 2004.
- BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial**: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2011. 130 p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.
- BOWER, H. Intake rate: cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1986. p. 825-844.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Programa produtor de águas**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/projetos/ProgramaProdutorAgua.aspx>>. Acesso em: 15 maio 2014.
- CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 221-230, 2002.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. BULK density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 425-442.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CASSOL, E. A.; LIMA, V. L. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 117-124, 2003.
- CAVALIERI, K. M. V. **Aspectos metodológicos da pesquisa sobre compactação e qualidade física do solo**. 2007. 72 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. de; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1541-1549, 2011.
- CHAPMAN, D. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. **Water quality assessments**. 2nd ed. New York: E&FN Spon, 1996.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; SILVA, F. R. da. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 235-244, 2009.
- DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. N.; LEMUNYON, J. L. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 27, p. 251-257, 1998.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil. In: _____. **Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista**. Eschborn: GTZ, 1991.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part II. friability, tillage, tith and hard-setting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 215-225, 2004.
- DEXTER, A. R.; YOUNGS, I. M. Soil Physic toward 2000. **Soil & Tillage Research, Amsterdam**, v. 24, p. 101-106, 1992.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1994. p. 1-20.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004.

DUTARTRE, Ph.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J. M.; ANGERS, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. In: BRUSSAARD, L.; KOOISTRA, M. J. (Ed.). **Soil structure/soil biota interrelationships**. Amsterdam: Elsevier, 1993. p. 459-478.

ENGEL, S.; SCHAEFER, M. Ecosystem services: a useful concept for addressing water challenges? **Environmental Sustainability**, v. 5, p. 696-707, 2013.

ESCASSEZ e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar. 28 nov. 2011. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>>. Acesso em: 15 jun 2014.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 11, p. 1583-1590, nov. 2008.

FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. 533 p.

FREITAS, D. A. F. de; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 417-428, 2012.

HATCH, D.; KEITH, G.; MURPHY, D. Nitrogen. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CAB International, 2002. p. 19-21.

HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CAB International, 2002. 501 p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413 p.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do estado do Paraná**. Londrina, 1978.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K.; HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 134, p. 24-33, 2006.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1994. p. 53-71. (SSSA Special Publication, 35).

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 425-442.

KAY, P.; EDWARDS, A. C.; FOULGER, M. A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry. **Agricultural Systems**, Essex, v. 99, p. 67-75, 2009.

KLEIN, V. A. Infiltração da água no solo. In: _____. **Física do solo**. 2. ed. Passo Fundo: Ed da UPF, 2012. p. 200-201.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 857-867, 2002.

LAL, R.; FOLLETT, R. F.; KIMBLE, J.; COLE, C. V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 5, p. 374-381, 1999.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LEINWEBER, P.; TURNER, B. L.; MEISSNER, R. Phosphorus. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CAB International, 2002. p. 30.



LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de Eucalipto e de pinheiro. **IPEF**, Piracicaba, n. 13, p. 75-90, 1976.

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 Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 175-187, 2004.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háptico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 901-909, 2003.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. E. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 34, p. 963-969, 2004.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: wetlands and water world**. Washington, D. C.: Island Press, 2005. 48 p. Disponível em: <<http://www.unep.org/maweb/documents/document.358.aspx.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S. J.; CARVALHO, P. C. F.; CASSOL, L. C. Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET-PR, 2002. p. 3-42.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 327-336, 2004.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil de gradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOCLS, I. (Ed.). **Soil Resilience and sustainable land use**. Wallingford: Cab International, 1994. p. 99-118.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCKC, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 187, p. 87-105, Apr. 2013.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 189-195, 1999.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PERGHER, M. R. G. **Emissão de óxido nitroso e metano do solo e de dejetos bovinos em Sistemas Integrados de Produção com iLP e iLPF**. 2014. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Produtividade em sistema de integração lavoura-pecuária floresta no subtropico brasileiro**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; DEDECK, R. A.; VEZZANI, F. M.; ALMEIDA, L. de; SPERRIN, M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Kassel, v. 115, p. 131-40, 2014.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, RS, v. 27, p. 29-48, 2003.

REYNOLDS, W. D.; GREGORICH, E. C.; CURNOE, W. E. Characterization of water transmission properties in tillage and untilled soils using tension infiltrometers. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 33, p. 117-131, 1994.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. Pressure infiltrometer. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Physical methods: Part 4: methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 826-836.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, p. 131-146, 2002.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

RODRIGUES, D. B. B.; ALVES S. T.; OLIVEIRA, P. T. S. de; PANACHUKI, E. Nova abordagem sobre o modelo brasileiro de serviços ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1037-1045, 2011.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO R. L.; SILVA, E. M. da; SILVEIRA, P. M. da.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 1339-1348, 2011.

SASAL, M. C.; CASTIGKIONI, M. G.; WILSON, M. G. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rain-fall erosion plots under no tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 108, p. 24-29, 2010.

SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R. W.; KLEINMAN, J. A. Phosphorus loss from land to water: Integrating agricultural and environmental management. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, p. 287-307, 2001.

SHARPLEY, A. N. Introduction: agriculture as a potential source of water pollution. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CAB International, 2002. p. 4-5.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Source-related transport of phosphorus in surface runoff. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, p. 2229-2235, 2006.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: van LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-280.

SILVA, A. P. da; IMHOFF, S.; CORSI, M. Evaluation of soil compaction in an irrigated short-ration grazing system. **Soil & Tillage and Research**, Amsterdam, v. 70, p. 83-90, 2003.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; FOLONI, L. L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 35, n. 2, p. 353-359, 2005.

SOIL quality test kit guide. Washington, DC: Soil Quality Institute, 1998. 82 p.

STEFANOSKI, C. D.; GLENIO, G. S.; MARCHÃO, L. R.; PETTER, A. F.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

TISDALL, J. M.; OADES, L. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 573-581, 1998.

TRINDADE, E. F. da S.; VALENTE, M. A.; MOURÃO JÚNIOR, M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo da capoeira no Nordeste Paraense. **Agroecossistemas**, v. 4, n. 1, p. 50-67, 2012.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 743-755, 2009.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O Solo como sistema**. Curitiba, 2011. 104 p.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 763-774, 2004.

WUNDER, S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**, Malden, v. 21, p. 48-58, 2007.

ZAGATTO, M. R. G. **Fauna edáfica em sistemas de uso do solo no Município de Ponta Grossa - PR**. 2014. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

