ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Relação entre as propriedades físico-hídricas dos solos e os tipos de uso da terra como subsídio ao manejo e conservação do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR

Francieli Sant'ana Marcatto¹, Hélio Silveira²

¹ Doutoranda Bolsista CAPES pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Paraná. Autor correspondente: fran_marcatto@hotmail.com; ² Professor Doutor do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá – hesilveira70@hotmail.com.

Artigo recebido em 28/10/2016 e aceite em 09/12/2016.

RESUMO

Os Latossolos e Nitossolos da bacia hidrográfica do Pirapó apresentam reduzida suscetibilidade natural à ocorrência de processos erosivos, entretanto, o manejo inadequado tem promovido a sua degradação, impondo condições favoráveis à ação dos agentes de erosão. Diante disso, esse trabalho tem por objetivo estudar os Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos de textura argilosa na bacia hidrográfica do Pirapó, apontando os efeitos das diferentes formas de uso e ocupação no comportamento físico e hídrico dos solos. Foram realizadas análises físicas de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, granulometria e estabilidade de agregados; análises hídricas de velocidade de infiltração e condutividade hidráulica e a análise química de carbono orgânico. Os resultados indicaram que os Latossolos e Nitossolos cultivados com culturas de grãos mostraram-se mais sensíveis às alterações impostas pelo tipo de uso, com alteração das suas propriedades físico-hídricas, sendo necessário buscar o correto manejo do solo garantindo a manutenção da qualidade da água e a sustentabilidade da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: propriedades físico-hídricas, uso da terra, compartimento de paisagem 4B, Latossolos e Nitossolos.

Relation between the soil's hydro-physical attributes and the land use as subsidy to the use and management of soil and water in the Pirapó river drainage basin

ABSTRACT

The Latosol and Nitosol in the Pirapó drainage basin present little natural susceptibility to erosive processes, however, inadequate management has been promoting its degradation and creating conditions favorable to the action of the agents of erosion. In face of this, this works objective is studying the Red Latosol and Red Nitosols of clayey texture in the Pirapó drainage basin, pointing the effects of the different forms of use and occupation in the hydro-physical behavior of these soils. Physical analysis of soil density, total porosity, macroporosity, microporosity, granulometry and aggregate stability were conducted, along with water analysis of infiltration rate and hydraulic conductivity, plus a chemical analysis of organic carbon. The results indicate the Latosols and Nitosols under grain crops are more sensitive to the changes caused by the type of use, with alteration of its hydro-physical attributes, making the search for the correct soil management necessary for maintenance of the water quality and sustainability of the drainage basin.

Keywords: hydro-physical proprieties, land use, 4B landscape compartment, Latosol and Nitosol.

Introdução

A modernização do campo e a implantação de sistemas agrícolas de uso intensivo do solo, sem considerar o seu limite de exploração e o tempo de restauração de suas propriedades, têm ocasionado prejuízos expressivos à agricultura e aos recursos hídricos.

Um solo em desarmonia com o ambiente encontra-se em estado de degradação e influenciará

negativamente o ambiente em que se situa. A retirada da vegetação natural e o seu uso intensivo o colocará exposto a uma série de fatores que tenderão a depauperá-lo, com intensidade e velocidade determinadas pelos atributos internos do solo, pelo clima, pelo relevo e pelas ações humanas nele praticadas (Lepsch, 2011).

A degradação dos solos é um grave problema ambiental que atinge todas as regiões do

Brasil. No Paraná, apesar dos inúmeros projetos de combate à erosão e conservação dos solos criados desde a década de 1960 e o avanço dos métodos de cultivo conservacionistas, a erosão ainda é um problema constante na região norte e noroeste do Estado, onde se insere a bacia hidrográfica do rio Pirapó.

O abandono de práticas conservacionistas observadas nos últimos anos tem intensificado a perda de solo por processos erosivos e a deterioração da qualidade da água, devido a maior quantidade de sedimentos carregados que chegam aos cursos d'água. O abandono dessas práticas pelos produtores rurais parte da suposição de que os problemas com a erosão estariam solucionados e é estimulado pelo anseio em aumentar a produção agrícola, levando a retirada de terraços e o revolvimento do solo, perdendo toda a cobertura superficial formada após anos de adoção do sistema de plantio direto.

A cobertura superficial dos solos e a manutenção da vegetação às margens dos cursos d'água são fatores fundamentais no controle do escoamento superficial e no transporte de sedimentos, influenciando diretamente na qualidade e disponibilidade de água. Monitorar as alterações das condições físico-hídricas dos solos e os impactos das práticas de manejo é fundamental para definir estratégias de redução dos problemas provocados pela prática da agricultura, visando à conservação do solo, a garantia da qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade de uma bacia hidrográfica.

Karlen et al. (2003) propõe que a proteção e prevenção de uma maior degradação do solo exige uma abordagem integrada com base em conhecimentos já existentes e na busca contínua por novos conhecimentos. Além disso, requer o desenvolvimento de uma abordagem em longo prazo, por meio do qual a proteção do solo é baseada em conhecimentos mais completos dos impactos diretos e indiretos das atividades humanas sobre o solo e das melhores práticas para minimizar a degradação desse recurso.

A bacia hidrográfica do Pirapó apresenta ao longo de sua extensão uma grande variedade de solos, rochas, formas de relevo e tipos de uso da terra, tornando necessário um estudo pormenorizado que identifique as potencialidades e vulnerabilidades de cada solo face aos processos de uso e ocupação. Os Latossolos e Nitossolos de textura argilosa ocupam o setor de montante da bacia em estudo e são utilizados, predominantemente, para o cultivo de culturas de grãos (soja, milho e trigo) e pastagens que apresentam reduzida suscetibilidade natural a ocorrência de processos erosivos. Entretanto, o

manejo inadequado tem promovido a sua degradação, impondo condições favoráveis a ação dos agentes de erosão.

O conhecimento das propriedades físicas e hídricas dos Latossolos e Nitossolos, como a composição granulométrica, densidade, porosidade, velocidade de infiltração, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados permite avaliar a influência do manejo empregado nas propriedades dos solos. Diante disso, esse trabalho objetiva estudar os Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos de textura argilosa na bacia hidrográfica do Pirapó, apontando os efeitos das diferentes formas de uso e ocupação no comportamento físico e hídrico dos solos.

Material e métodos

A bacia hidrográfica do rio Pirapó localiza-se no norte central do estado do Paraná, na região do Terceiro Planalto Paranaense, entre as latitudes de 22°32'30" e 23°36'18" S e longitudes de 51°22'42" e 52°12'30" W (Figura 1). O rio Pirapó tem um percurso aproximado de 168 Km de extensão, em uma área territorial de 5.098,10 Km² (SEMA, 2013).

Os Latossolos e Nitossolos de textura argilosa se localizam, principalmente, a montante da bacia, no compartimento de paisagem 4b, conforme foi definido por Nóbrega et al. (2015), para as bacias hidrográficas do Pirapó, Paranapanema III e IV.

A classificação proposta por Nóbrega et al. (2015) atribui à Unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema 3 e 4, a presença de 5 compartimentos de paisagem. Na bacia hidrográfica do Paranapanema III localizam-se o compartimento arenítico 1, que subdivide-se em A e B e o compartimento basáltico 2. Na bacia hidrográfica do Pirapó localizam-se o compartimento arenítico 3 e o compartimento basáltico 4, com os subcompartimentos A e B, diferenciando-se devido a presença de um relevo mais dissecado e uma rede de drenagem mais densa no compartimento A, que resultam em solos de menor profundidade e, consequentemente, em diferentes formas de uso e ocupação. Por último, a bacia hidrográfica do Paranapanema IV, que apresenta somente um compartimento, que subdivide-se nos subcompartimentos A e B.

O reconhecimento da qualidade física e hídrica dos Latossolos e Nitossolos foi realizado nos usos predominantes para a área de estudo, destacando-se os cultivos de culturas de grãos (soja, milho e trigo) e as pastagens. Procedeu-se

1771

realizada a descrição morfológica obedecendo à terminologia e critérios propostos no Manual de Método de trabalho de campo (Lemos e Santos, 1996) e a coleta de amostras deformadas e indeformadas nos horizontes superficiais e subsuperficiais.

As amostras coletadas em campo foram utilizadas para a caracterização física dessa cobertura, com a determinação dos seguintes parâmetros: densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico; porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) pelo método da mesa de tensão; estabilidade de agregados (DMPA) pelo método via seca; granulometria pelo método da pipeta. Todas as análises físicas dos solos foram realizadas segundo a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA, 1997). A caracterização hídrica como a velocidade de infiltração (Vi) e condutividade hidráulica (Kfs) foi determinada com auxílio do Permeâmetro de Guelph, com a aplicação de uma carga hidráulica constante (Elrick et al., 1989).

Foi realizada ainda, a análise química de carbono orgânico pelo método de Walkley e Black (1934). Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), classificado conforme a interpretação de Zou et al. (2003) adaptada por Santos et al. (2012).

Os ensaios de granulometria, estabilidade de agregados, matéria orgânica, velocidade de infiltração e condutividade hidráulica foram realizados no horizonte superficial e subsuperficial (0-20 cm e 20-40 cm). A opção por realizar os ensaios em duas profundidades deve-se a necessidade de representar um horizonte superficial onde há a interferência direta das práticas de manejo e um horizonte subsuperficial que tem essa interferência reduzida, mas que em alguns sistemas de manejo (cultivo convencional) observa-se a alteração devido ao acúmulo da pressão exercida por maquinários.

Para os ensaios de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, as coletas foram realizadas nas profundidades de 5 cm, 20 cm e 40 cm. A escolha pela análise de três profundidades deve-se a técnica utilizada para a coleta de amostras indeformadas, com os cilindros de metal que representam uma porção pontual do perfil do solo, sendo necessário um maior número de amostragem em diferentes profundidades para avaliar a interferência do manejo em cada uma delas, tendo assim uma visão geral do que ocorre até os 40 cm de profundidade do perfil do solo.

Resultados e discussão

Os Latossolos e Nitossolos de textura argilosa são formados pela alteração de basaltos toleíticos com elevados valores de titânio da Formação Serra Geral (Piccirillo et al., 1988; Mineropar, 2001), ocupam grande porção territorial do compartimento de paisagem 4B da bacia hidrográfica do Pirapó.

Os Latossolos localizam-se em superfícies de declividades fracas, possuem como características gerais uma grande profundidade, boa permeabilidade, elevada porosidade e reduzida fertilidade natural (Bigarella e Mazuchowski, 1985; Fasolo et al., 1988). Apresentam textura e coloração bastante uniforme ao longo do perfil e a estrutura do horizonte B formada por agregados granulares. Apesar de serem considerados solos muito resistentes a erosão devido à situação topográfica que ocupam, favorecendo a infiltração de água, de acordo com Fasolo et al. (1988), a retirada da floresta natural e o uso inadequado do solo tem ocasionado a ocorrência de processos erosivos. Segundo o relatório de controle da erosão realizado em 1972 no Noroeste do Paraná (Brasil, 1972), esse solo possui uma baixa suscetibilidade à erosão, com a ocorrência mais comum de erosões laminares. A classificação proposta pela EMBRAPA (1988) e aplicada por Bigarella e Mazuchowski (1985) também atribuíram aos Latossolos de textura argilosa uma ligeira suscetibilidade à erosão.

Os Nitossolos são solos profundos, bem drenados e porosos, com agregados poliédricos e reluzentes. Ocorrem, geralmente, em áreas de relevo ondulado e são menos frequentes em superfícies de declives suaves (relevo plano a suave ondulado) (EMBRAPA, 1984). Apesar de serem solos resistentes à erosão, a situação topográfica que ocupam e as suas características estruturais que promove o adensamento e o predomínio de porosidade fissural reduzindo a permeabilidade, torna-os menos resistentes a erosão comparados aos Latossolos de mesma textura (Bigarella e Mazuchowski, 1985; Fasolo et al., 1988; Nóbrega et al., 2015).

No compartimento de paisagem estudado, a distribuição dos Latossolos e Nitossolos na paisagem se associa a relevos de colinas médias, com topos arredondados e alargados e altitudes superiores a 500m (Nóbrega et al., 2015). Predominam como uso da terra as culturas de grãos, com o cultivo de soja, milho e trigo, que utilizam como sistema de manejo o plantio direto e, em menor proporção, as pastagens.

Os solos analisados apresentam características distintas quanto à morfologia, características físico-hídricas, posição que ocupam

na vertente e suscetibilidade à erosão. Diante disso, conhecer essas características torna possível estabelecer limites de uso da terra, minimizando os impactos ocasionados pelo uso do solo.

As análises granulométricas permitiram determinar os teores de areia, silte e argila presentes em cada tipo de solo avaliado, bem como a sua textura. Analisando os dados observou-se que nos Latossolos a fração areia apresentou baixas porcentagens variando entre 1,88% a 10,76%. Os maiores valores foram observados em superfície, com uma redução na profundidade de 20-40 cm para todos os usos. Os valores de silte ficaram entre 16,59% a 31,47% e o percentual de argila apresentou uma variação de 61,08% a 76,18%, com maiores valores na profundidade de 20-40 cm em todos os usos analisados (Tabela 1).

Para os Latossolos com culturas de grãos e pastagem o incremento no percentual de argila com o aumento da profundidade foi o mais significativo, onde em superfície o Latossolo com pastagem apresentou 65,72% e em profundidade de 71,8%.

Nas culturas de grãos o percentual de argila foi de 62,12% e 76,17% em superfície e em profundidade, respectivamente (Tabela 1).

Nos Nitossolos o percentual de areia ficou entre 2,89% a 14,05%, com valores superiores no horizonte superficial. O teor de silte variou entre 17,15% a 27,78% e o percentual de argila foi superior na profundidade de 20-40 cm, com valores entre 61,97% a 76,95% (Tabela 1).

O incremento de argila com o aumento da profundidade nos Nitossolos foi mais expressivo nos usos com culturas de grãos e floresta nativa. Nas culturas de grãos o percentual de argila foi de 68,37% em superfície e 75,9% na profundidade de 20-40 cm. Para a floresta nativa os valores foram de 61,97% e 76,95% em superfície e profundidade, respectivamente (Tabela 1).

Utilizando a proposta de classificação da textura do solo proposta pela EMBRAPA (2006), os Latossolos e Nitossolos em todos os usos avaliados, apresentaram textura muito argilosa com percentual de argila superior a 60%.

Tabela 1. Composição granulométrica e classificação textural do Latossolo (LV) e Nitossolo Vermelho (NV) de textura argilosa sob pastagem, culturas de grãos e floresta nativa.

Solos	Usos	Profundidades	Granulometria (%)			Textura
			Areia	Silte	Argila	
LV	Pastagem	0-20cm	6,93	27,35	65,72	Muito argilosa
LV	Pastagem	20-40cm	3,15	25,05	71,8	Muito argilosa
LV	Culturas de grãos	0-20cm	10,76	27,12	62,12	Muito argilosa
LV	Culturas de grãos	20-40cm	7,23	16,59	76,18	Muito argilosa
LV	Floresta nativa	0-20cm	9,75	29,17	61,08	Muito argilosa
LV	Floresta nativa	20-40cm	1,88	31,47	66,65	Muito argilosa
NV	Pastagem	0-20cm	14,05	22,98	62,97	Muito argilosa
NV	Pastagem	20-40cm	6,04	27,56	66,4	Muito argilosa
NV	Culturas de grãos	0-20cm	10,24	21,39	68,37	Muito argilosa
NV	Culturas de grãos	20-40cm	6,95	17,15	75,9	Muito argilosa
NV	Floresta nativa	0-20cm	10,25	27,78	61,97	Muito argilosa
NV	Floresta nativa	20-40cm	2,89	20,16	76,95	Muito argilosa

A densidade do solo indicou um incremento nos valores na profundidade de 20 cm para a maioria dos usos em estudo, exceto para os solos cultivados com culturas de grãos (soja, milho e trigo) que apresentaram maior densidade em superfície (5cm), com a redução dos valores em profundidade (Figura 2 e Tabela 2).

A elevada densidade em superfície para as culturas de grãos está associada ao tipo de manejo

empregado, o sistema de plantio direto. Tormena et al. (2002) obtiveram resultados semelhantes ao avaliar um Latossolo Vermelho em Araruna – PR, onde os maiores valores de densidade do solo ocorreram em superfície (camada de 0-10 cm), comparada a camada de 10-20 cm, segundo o autor esse resultado se explica pelo não revolvimento da superfície do solo. Albuquerque et al. (2001) também observaram maior densidade na

profundidade de 0-5 cm em um Nitossolo Vermelho com um decréscimo dos valores em profundidade.

Os valores médios de densidade do solo nos diferentes tipos de uso tiveram maior variação nos horizontes superficiais, com os menores resultados para os solos com floresta nativa ($LV=0,737 \text{ g.cm}^3$ e $NV=0,812 \text{ g.cm}^3$) e os maiores para os solos cultivados com culturas de grãos ($LV=1,567 \text{ g.cm}^3$ e $NV=1,394 \text{ g.cm}^3$), tanto no Latossolo quanto no Nitossolo. A maior densidade do solo em áreas cultivadas corrobora com os resultados encontrados por Rosseti et al. (2013), verificando que os solos cultivados sob plantio direto e plantio convencional apresentaram maior densidade do que aqueles mantidos sob floresta natural.

Muitos autores utilizam a floresta nativa como parâmetro de comparação, devido a maior conservação das propriedades químicas, físicas e hídricas dos solos. Araujo et al., 2004, Assis e Lanças, 2005, Jakelaitis et al., 2008 e Oliveira et

al., 2015 utilizaram-na como referência, obtendo como resultado menores valores de densidade do solo e um aumento no volume de poros.

Os resultados obtidos neste estudo concordam com aqueles indicados por Reichert et al. (2007) para áreas de pastagem e cultivos agrícolas, onde a compactação geralmente ocorre até 20 cm de profundidade. Na profundidade de 40 cm os valores de densidade do solo foram menores e com reduzida diferenciação entre os usos avaliados. Atribuiu-se o resultado a redução da interferência do manejo e a decomposição dos restos culturais nessa profundidade.

Reichert et al. (2003) apontam valores críticos de densidade do solo que limitam o desenvolvimento das plantas entre 1,30 e 1,40 g.cm^3 para solos de textura argilosa. Dessa forma, o uso com culturas de grãos na profundidade de 5 e 20 cm, tanto para o Latossolo quanto para o Nitossolo e o uso com pastagem na profundidade de 20 cm no Nitossolo, apresentaram valores superiores aos considerados críticos na literatura.

Figura 2. Densidade do solo no Latossolo (LV) e Nitossolo Vermelho (NV) de textura argilosa sob pastagem (p), culturas de grãos (c) e floresta nativa (f).

Os maiores valores de densidade do solo refletiram na quantidade e tamanho dos poros, tendo em vista a correlação negativa muito forte existente entre as duas variáveis ($r = -0,992$). Os solos cultivados com culturas de grãos apresentaram reduzida porosidade total em superfície (45,97% para o Latossolo e 51,93% para o Nitossolo), comparado ao uso com floresta nativa (74,59% e 72,0% para o Latossolo e Nitossolo,

respectivamente), a diminuição na quantidade de poros em superfície é resultado do efeito cumulativo do tráfego de máquinas. O uso com pastagem apresentou resultados intermediários entre as culturas de grãos e a floresta nativa, mas com grande volume de poros na profundidade de 5cm ($LV = 64,66\%$ e $NV = 61,65\%$) como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do Latossolo e Nitossolo Vermelho de textura argilosa sob pastagem, culturas de grãos e floresta nativa.

LATOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA SOB PASTAGEM				
Profundidade (cm)	Ds (g.cm ³)	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)
5	1,025	27,53	37,13	64,66
20	1,290	12,04	43,48	55,52
40	1,137	21,95	38,84	60,79
LATOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA SOB CULTURAS DE GRÃOS				
Profundidade (cm)	Ds (g.cm ³)	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)
5	1,567	8,77	37,20	45,97
20	1,322	10,64	43,77	54,41
40	1,181	14,29	44,98	59,27
LATOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA SOB FLORESTA NATIVA				
Profundidade (cm)	Ds (g.cm ³)	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)
5	0,737	45,18	29,40	74,58
20	1,137	22,69	38,11	60,79
40	1,116	19,33	39,95	59,28
NITOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA SOB PASTAGEM				
Profundidade (cm)	Ds (g.cm ³)	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)
5	1,112	3,30	58,35	61,65
20	1,353	10,12	43,23	53,35
40	1,282	9,30	45,90	55,2
NITOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA SOB CULTURAS DE GRÃOS				
Profundidade (cm)	Ds (g.cm ³)	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)
5	1,394	7,63	44,30	51,93
20	1,335	9,44	44,53	53,97
40	1,255	9,41	46,38	55,79
NITOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA SOB FLORESTA NATIVA				
Profundidade (cm)	Ds (g.cm ³)	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)
5	0,812	29,69	42,31	72,0
20	1,024	28,09	36,60	64,69
40	1,071	23,09	39,97	63,06

A porosidade total tem uma importante relação com a conservação dos recursos hídricos, considerando que a diminuição do espaço poroso dos solos tem consequência direta para os cursos d'água, haja vista que a água que infiltra no solo abastece o lençol freático, mantendo a vazão dos corpos hídricos. Além disso, um solo com baixa porosidade dificulta a infiltração das águas favorecendo o escoamento superficial, que causa o transporte e a deposição de sedimentos nos corpos d'água, podendo ocasionar assoreamentos. Os poros presentes no solo possuem ainda, relação direta com o crescimento de raízes, movimento do ar, água e nutrientes no solo (Bertol et al., 2004; Rodrigues, 2009).

Além da porosidade total, a macroporosidade e microporosidade são importantes atributos na avaliação das condições físico-hídricas dos solos. A macroporosidade é responsável pela aeração e drenagem da água,

enquanto que um aumento na microporosidade torna o solo mais eficiente na retenção de água (Reichert et al., 2007). Os maiores valores de macroporosidade para o Latossolo e Nitossolo foram obtidos em floresta nativa, associada à presença de raízes que formam canais no solo, ao maior aporte de matéria orgânica e a ação de organismos vivos. À medida que se aumenta a profundidade, ocorre a diminuição do teor de matéria orgânica, reduzindo também o número de macroporos.

Ortigara et al. (2014) estudando as propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Vermelho distrófico em áreas de pastejo rotacionado, mata nativa e lavoura com culturas anuais, obtiveram como resultado uma redução nos valores de macroporosidade nos solos cultivados comparado a mata natural, atribuindo a elevada macroporosidade na mata à preservação da estrutura do solo, à abundante fauna edáfica e a

grande quantidade de raízes que proporcionam estruturação e sustentação do solo.

Quanto as piores condições avaliadas, para o Latossolo ocorreram no uso com culturas de grãos, com menor quantidade de macroporos em superfície (8,77 %) e um incremento em maiores profundidades, concordando com os resultados de densidade do solo obtidos para esse uso. No Nitossolo, as piores condições foram observadas no uso com pastagem e culturas de grãos, que apresentaram valores muito semelhantes nas profundidades de 20 e 40 cm, diferenciando-se somente em superfície, com 3,30% de macroporos para o uso com pastagem e 7,63% para as culturas de grãos (Tabela 2 e Figura 3).

A microporosidade variou de 29,4% a 58,35% entre os solos, usos e profundidades avaliadas, apresentando os maiores valores no Nitossolo e Latossolo cultivados com culturas temporárias. O maior volume de poros menores foi acompanhado de uma reduzida macroporosidade, demonstrando que o sistema de manejo empregado tem promovido a redução do tamanho dos poros.

Para Tormena et al. (2002), valores de macroporosidade inferiores a 10-15% são considerados restritivos ao crescimento e

produtividade da maioria das culturas. Considerando o valor crítico de 10% de macroporos estabelecido na literatura, é possível afirmar que o valor da macroporosidade para o Latossolo Vermelho sob culturas de grãos em superfície e para o Nitossolo Vermelho sob pastagem e culturas de grãos em todas as profundidades analisadas, denotam uma condição restritiva para a movimentação de água no perfil do solo, dificultando o desenvolvimento das plantas.

Os resultados de macroporosidade demonstraram uma correlação negativa muito forte com a densidade do solo ($r = -0,903$) e a microporosidade uma correlação positiva moderada ($r = 0,572$), evidenciando que quanto maior a densidade, menor a macroporosidade e maior a quantidade de microporos (Tabela 3). A análise conjunta da densidade e da quantidade de poros presente nos solos indicaram pelo menos um camada compactada no Latossolo e Nitossolo sob culturas de grãos e pastagem, com limitada capacidade de movimentação de água no perfil e reduzida porosidade total, propiciando condições para a formação rápida de escoamento superficial e o desenvolvimento de processos erosivos nesses cultivos.

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson para a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPA), argila (A) e carbono orgânico (CO).

Variável	Pt	Ma	Mi	Rp	U	DMPA	A	CO	Vi	Kfs	Intensidade de correlação*
Ds	-1,000	-0,998	0,982	0,995	-1,000	-0,991	-0,738	-0,909	-0,829	-0,975	0 ≤ R < 0,2 (muito fraca)
Pt		0,998	-0,983	-0,995	1,000	0,991	0,739	0,910	0,830	0,976	0,2 ≤ R < 0,4 (fraca)
Ma			-0,991	-0,999	0,998	0,982	0,775	0,931	0,860	0,986	0,4 ≤ R < 0,6 (moderada)
Mi				0,996	-0,980	-0,949	-0,851	-0,971	-0,919	-0,999	0,6 ≤ R < 0,8 (forte)
Rp					-0,994	-0,973	-0,802	-0,947	-0,882	-0,993	0,8 ≤ R ≤ 1 (muito forte)
U						0,992	0,731	0,905	0,823	0,973	
DMPA							0,641	0,845	0,748	0,937	
Argila								0,952	0,989	0,869	
CO									0,987	0,979	
Vi										0,932	

*Classificação da intensidade de correlação proposta por Zou et al. (2003), adaptada de Santos et al. (2012).

Na avaliação da velocidade de infiltração (Vi) e condutividade hidráulica (Kfs) dos solos nos diferentes tipos de uso, observou-se um comportamento padrão, com maiores valores de Vi e Kfs em superfície (0-20 cm), quando comparados aos resultados obtidos na profundidade de 20 a 40 cm (Tabela 4 e Figura 3). Gennaro et al. (2015)

estudando um Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo, atribuíram os maiores valores de Kfs na camada superficial ao maior crescimento radicular das culturas agrícolas e à presença de microtúbulos após a decomposição de raízes vegetais, favorecendo o movimento de

água no solo. Esses resultados também estão de acordo com os obtidos por Hickmann et al. (2012).

As melhores condições de permeabilidade foram observadas na floresta nativa, devido à manutenção das condições naturais do solo, sem interferência direta do uso e manejo de qualquer tipo de cultura comercial. Carpenedo (1985) atribui à ação dos compostos orgânicos a formação de agregados granulares, que tornam a permeabilidade de solos argilosos semelhante aos solos textura de arenosa. Além disso, os elevados valores de macroporosidade e porosidade total contribuíram

para aumentar a condutividade hidráulica nesse tipo de uso (Tabela 4).

Na camada de 0-20 cm observou-se uma relação direta da macroporosidade com a velocidade de infiltração entre os diferentes usos da terra, conforme ilustra a Figura 3, onde a redução do volume de macroporos representou uma redução na velocidade de infiltração da água no solo, com as piores condições nos Latossolos com culturas de grãos e nos Nitossolos com pastagem e culturas de grãos. Resultado semelhante foi observado na camada de 20-40 cm.

Figura 3. Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e velocidade de infiltração (Vi) do Latossolo (LV) e Nitossolo (NV) Vermelho de textura argilosa sob pastagem (p), culturas de grãos (c) e floresta nativa (f).

A condutividade hidráulica na profundidade de 0-20 cm dos solos com culturas de grãos foram 16 e 18 vezes menores no Latossolo e Nitossolo, respectivamente, quando comparados aos valores obtidos na floresta nativa (Tabela 4), fato também observado em um Nitossolo

Vermelho por Albuquerque et al. (2001), que obtiveram valores de condutividade hidráulica 38 vezes menor no plantio direto do que na mata, atribuído à diminuição dos macroporos, responsáveis pela drenagem da água. Assim, a redução da macroporosidade nos solos cultivados

pode explicar os menores valores de condutividade hidráulica, tendo em vista a forte correlação existente entre essas duas variáveis ($r=0,751$) (Tabela 3). A grande correlação entre a condutividade hidráulica e a macroporosidade também foi relatada por Dalbianco (2009), que obteve $r=0,74$.

No cultivo com pastagens os valores de Vi e Kfs, também foram reduzidos em comparação aos valores obtidos em floresta nativa. Em superfície, a condutividade hidráulica do Latossolo e Nitossolo foram 5 e 10 vezes menores em relação as condições naturais mantidas em solo com floresta nativa. Em profundidade, a redução da permeabilidade do Latossolo com pastagem foi ainda mais expressiva, com Kfs de 2,1 mm/h e Vi de 80 mm/h, sendo esses valores 19 e 10 vezes menores aos obtidos em floresta nativa (Tabela 4).

Os dados de Vi e Kfs apresentaram grande variabilidade, avaliada pelo coeficiente de

variação com a maior variação nos solos com pastagem e culturas de grãos (Tabela 4). Abreu et al. (2004) obtiveram valores elevados de coeficiente de variação (52,8%) da condutividade hidráulica medida com o permeâmetro de Guelph, em estudo de um Argissolo franco-arenoso cultivado com o sistema de plantio direto. Scherpinski et al. (2010) encontram valores de coeficiente de variação de 90,83%, avaliando a variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração de água no solo usando o Permeâmetro de Guelph, atribuindo o resultado como dependente do espaço poroso do solo e de sua variação estrutural. Guimarães (2000), avaliando a infiltração e a condutividade hidráulica com auxílio do permeâmetro de Guelph em um Latossolo Vermelho textura argilosa sob o manejo em plantio direto, obteve como resultado um coeficiente de variação de 47,88% para a infiltração e 106,2% para a condutividade hidráulica.

Tabela 4. Média, desvio padrão e coeficiente de variação da velocidade de infiltração e condutividade hidráulica no Latossolo (LV) e Nitossolo Vermelho (NV) de textura argilosa sob pastagem (p), culturas de grãos (c) e floresta nativa (f)

Usos e profundidades	Velocidade de infiltração – Vi			Condutividade hidráulica - Kfs		
	Média (mm/h)	Desvio padrão (mm/h)	Coeficiente de variação (%)	Média (mm/h)	Desvio padrão (mm/h)	Coeficiente de variação (%)
LATOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA						
LV(p) 0-20cm	930	42,43	4,5	22,2	0,84853	3,82
LV(p) 20-40cm	80	62,45	78,06	2,1	1,47499	67,66
LV (c) 0-20cm	375	148,49	39,60	7,5	2,12132	28,28
LV(c) 20-40cm	280	86,60	30,93	6,8	1,76669	26,01
LV(f) 0-20cm	1830	381,84	20,87	120	16,9705	14,14
LV(f) 20-40cm	800	69,28	8,66	41,2	8,90617	21,61
NITOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA						
NV(p) 0-20cm	390	167,03	42,83	16,4	12,50439	76,25
NV(p) 20-40cm	380	192,87	50,76	7,6	3,814289	49,92
NV (c) 0-20cm	690	196,72	28,51	9,6	5,909315	61,56
NV(c) 20-40cm	350	379,87	108,53	7,3	7,895036	108,15
NV(f) 0-20cm	2790	381,84	13,69	177	29,69848	16,78
NV(f) 20-40cm	680	69,28	10,19	24,8	23,24048	93,71

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA) indica a estabilidade da estrutura do solo diante da ação de desagregação da água, podendo indicar o grau de suscetibilidade do solo à erosão hídrica (Bertol et al., 2004). De acordo com os resultados de agregação, os solos sob floresta apresentaram elevado diâmetro médio ponderado dos agregados, com 4,5 mm para o Latossolo e Nitossolo em superfície, com agregados maiores e mais estáveis, em comparação aos outros usos, por não sofrerem interferência do manejo (Tabela 5). O teor de carbono orgânico

(CO) foi de 40,13 g.dm³ no Latossolo e 24,16 g.dm³ no Nitossolo.

Albuquerque et al. (2005) apontam que em solos de mata e campo nativo há uma atuação mais intensa de agentes importantes na gênese dos agregados, como as moléculas orgânicas, hifas de fungos, mucilagens e raízes. Tisdall e Oades (1979), também reconhecem a importância das raízes das plantas no papel de estabilizar os agregados por meio da liberação de compostos orgânicos e do envolvimento físico e como fonte de energia para os microrganismos da rizosfera que produzem substâncias estabilizantes. Bertol et al.

(2004) explicaram o maior DMPA de solos não cultivados (campo natural), devido a influência do teor de matéria orgânica e aos ciclos de umedecimento e secagem do solo, que potencializam e consolidam a agregação. Assis e

Lanças (2005) também obtiveram maior DMPA em solos com mata nativa, atribuindo o resultado ao grande acúmulo de matéria orgânica e a ausência da ação antrópica.

Tabela 5. Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPA), carbono orgânico (CO) e teor de argila do Latossolo (LV) e Nitossolo Vermelho (NV) sob pastagem, culturas de grãos e floresta nativa.

Solo	Uso	Profundidade (cm)	DMPA (mm)	CO (g.dm ³)	Argila (%)
LV	Pastagem	0-20	4,34	34,67	65,72
LV	Pastagem	20-40	3,98	12,47	71,8
LV	Culturas de grãos	0-20	3,6	23,38	62,12
LV	Culturas de grãos	20-40	3,4	7,4	76,17
LV	Floresta nativa	0-20	4,50	40,13	61,08
LV	Floresta nativa	20-40	4,53	5,84	66,65
NV	Pastagem	0-20	3,93	34,64	62,97
NV	Pastagem	20-40	3,81	14,42	66,4
NV	Culturas de grãos	0-20	3,13	29,22	68,37
NV	Culturas de grãos	20-40	3,28	6,23	75,9
NV	Floresta nativa	0-20	4,53	24,16	61,97
NV	Floresta nativa	20-40	3,73	10,52	76,95

Na profundidade de 20-40 cm do Latossolo Vermelho em floresta nativa não houve grande diferenciação no tamanho dos agregados (4,53 mm) comparado ao horizonte superficial, no entanto, observou-se uma redução expressiva do teor de CO de 40,13 para 5,84 g.dm³ (Tabela 5). Destaca-se ainda, a mudança estrutural do solo em profundidade que passa de agregados granulares, com grau moderado a forte e tamanho médio a grande em superfície, para agregados em forma de blocos angulares e granulares, de grau moderado e tamanho médio (Tabela 6).

Para o Nitossolo Vermelho sob floresta em subsuperfície o DMPA foi de 3,73 mm, com uma redução do teor de carbono orgânico em mais de 55% em relação à superfície (Tabela 5). Os agregados em superfície são formados por estruturas granulares e blocos subangulares, de grau forte e tamanho médio a grande. Em profundidade os agregados se organizam em blocos angulares passando a granulares, com tamanho pequeno a médio e grau moderado a forte (Tabela 6).

Apesar da ação do manejo nas culturas de grãos e o pisoteio animal nas pastagens, o elevado percentual de carbono orgânico em superfície e o percentual de argila, que auxilia na agregação dos solos, resultaram em agregados grandes, com DMPA superior a 3 mm, tanto no Latossolo quanto no Nitossolo. O ensaio de granulometria indicou percentual de 65,72% de argila no Latossolo sob pastagem, com teor de carbono orgânico de 34,67 g.dm³ e 62,12% de argila para o mesmo solo

cultivado com culturas de grãos, com carbono orgânico de 23,38 g.dm³. Nos Nitossolos observou-se teor de argila de 62,97% para o uso com pastagem, com CO de 34,64 g.dm³ e no uso com culturas de grãos o percentual de argila foi de 68,37%, com CO de 29,22 g.dm³ (Tabela 5).

O elevado valor de DMPA nas pastagens, principalmente em superfície, é resultado da ausência de mobilização do solo e da ação das raízes das gramíneas, que possuem um sistema radicular abundante que são muito eficientes na renovação da bioestrutura dos solos, conforme relatado por Primavesi (2002). Os valores de carbono orgânico observados nos horizontes superficiais dos solos cultivados com pastagem foram muito semelhantes ou até superiores aos encontrados em floresta nativa, demonstrando a importância do sistema radicular das gramíneas no aporte de carbono orgânico do solo e na estabilização dos agregados. Wendling et al. (2005) também ressaltaram a maior eficiência das gramíneas em formar agregados estáveis, atribuindo o resultado à liberação de exsudatos orgânicos e à compressão das partículas unitárias e remoção da água, favorecendo a coesão entre as partículas do solo.

O Latossolo Vermelho sob pastagem apresentou em seu horizonte superficial estrutura granular, com grau moderado, tamanho médio e diâmetro médio ponderado de agregados superiores à 4,34 mm. Em profundidade, houve uma redução no tamanho dos agregados tamanho dos agregados, com valores de DMPA de 3,98 mm.

A estrutura é identificada como granular, de grau moderado a forte e tamanho pequeno a médio (Tabela 6).

No Nitossolo sob o mesmo uso, observou-se pouca variação no tamanho dos agregados em superfície e profundidade (3,93 mm e 3,81 mm, respectivamente), entretanto há uma expressiva redução do conteúdo de CO e um incremento no teor de argila com o aumento da profundidade (Tabela 5). Observou-se ainda, uma mudança estrutural dos solos, onde os agregados granulares de tamanho médio e grau moderado em superfície passaram para blocos angulares e subangulares, de tamanho médio e grau moderado (Tabela 6).

O DMPA do Latossolo sob culturas de grãos indicou 3,6 mm em superfície e 3,4 mm em profundidade, com uma redução expressiva do teor de carbono orgânico (23,38 g.dm³ em superfície e 7,4 g.dm³ em profundidade) e um incremento de argila (62,12% em superfície e 76,18% em profundidade), conforme apresentado na Tabela 5.

Em superfície, a estrutura é formada por agregados granulares de tamanho pequeno a médio e grau moderado. Na profundidade de 20-40 cm a estrutura é formada por blocos angulares a subangulares passando a granulares, com tamanho pequeno a médio e grau moderado a forte (Tabela 6).

No Nitossolo com culturas, observou-se agregados maiores na profundidade de 20-40cm, apesar de uma redução do conteúdo de carbono orgânico. O aumento no tamanho dos agregados podem estar associados ao acréscimo de argila nessa camada (68,37% em superfície e 75,9% em profundidade). Houve ainda uma mudança da organização estrutural dos agregados com o aumento da profundidade, onde os agregados granulares a blocos subangulares de tamanho médio e grau moderado a forte passaram a blocos angulares e subangulares, com tamanho médio e grau moderado a forte (Tabela 6).

Tabela 6. Descrição morfológica da estrutura e consistência dos Latossolos (LV) e Nitossolos (NV) Vermelhos de textura argilosa sob pastagem (p), culturas de grãos (c) e floresta nativa (f).

Solos, usos e profundidades	Estrutura			Consistência		
	Grau	Tamanho	Tipo	Seco	Úmido	Molhado
LV(p) 0-20 cm	Moderado	Médio	Granulares	Macia	Friável	Plástica/ pegajosa
LV(p) 20-40 cm	Moderado/ forte	Pequeno/ médio	Granulares	Macia	Muito friável	Plástica/ pegajosa
LV(c) 0-20 cm	Moderado	Pequeno/ médio	Granulares	Macia	Muito friável	Plástica/ pegajosa
LV(c) 20-40 cm	Moderado/ forte	Pequeno/ médio	Blocos angulares/ subangulares passando a granulares	Macia	Muito friável	Muito plástica/ muito pegajosa
LV(f) 0-20 cm	Moderado/ forte	Médio/ grande	Granulares	Macia	Muito friável	Plástica/ pegajosa
LV(f) 20-40 cm	Moderado	Médio	Blocos angulares/ granulares	Macia	Friável	Plástica/ pegajosa
NV(p) 0-20 cm	Moderado	Médio	Granulares	Macia	Muito friável	Plástica/ pegajosa
NV(p) 20-40 cm	Moderado	Médio	Blocos angulares/ subangulares	Macia	Friável	Muito plástica/ muito pegajosa
NV(c) 0-20 cm	Moderado/ forte	Médio	Granulares/ blocos subangulares	Macio	Muito friável	Muito plástico/ muito pegajoso
NV(c) 20-40 cm	Moderado/ forte	Médio	Blocos angulares/ subangulares	Macia	Friável	Muito plástica/ muito pegajosa
NV(f) 0-20 cm	Forte	Médio/ grande	Granular/ blocos subangulares	Macia	Muito friável	Muito plástico/ muito pegajoso
NV(f) 20-40 cm	Moderado/ forte	Pequeno/ médio	Blocos angulares/ granulares	Macia	Muito friável	Muito plástica/ muito pegajosa

O elevado percentual de CO observado no horizonte superficial dos solos cultivados com culturas de grãos sob o sistema de plantio direto é

de fundamental importância para a qualidade do solo, como destacado por Tormena et al. (2004), que atribui ao CO a redução do estresse causado

pela aplicação de agroquímicos, chuva e tráfego de máquinas que incidem diretamente sobre a superfície do solo.

No entanto, deve-se considerar que agregados grandes em solos cultivados podem estar associados à agregação mecânica, que causa a compreensão das partículas do solo formando torrões que não apresentam a qualidade positiva de um agregado (Oliveira et al., 2013). A formação de macroagregados por processos físicos, como operações mecânicas de máquinas ou pelo pisoteio de animais, podem não ser estáveis. O que aumenta a estabilidade dos agregados são os agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, o crescimento e funcionamento das raízes e o crescimento e morte de tecidos vegetais (Salton et al., 2008).

Ao correlacionar o DMPA com a densidade do solo, observou-se no Latossolo e Nitossolo Vermelho sob culturas de grãos que apesar do elevado percentual de carbono orgânico (CO) no horizonte superficial (23,38 g.dm³ e 29,22 g.dm³, para o Latossolo e Nitossolo, respectivamente), esse sistema de cultivo apresentou elevada densidade do solo e reduzida macroporosidade, podendo o elevado DMPA estar associado à compactação. Silva et al. (2006) ao avaliarem os atributos físicos e o teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho em diferentes sistemas de manejo com sucessão de culturas ervilhaca-milho, obtiveram como resultado elevado diâmetro médio dos agregados no preparo convencional, comparado ao campo natural e ao preparo reduzido, atribuindo o resultado a ação de forças de compressão e não pela ação biológica de raízes e microrganismos. Silva e Mielniczuk (1998) também atribuíram os elevados valores de agregação em solos submetidos à mecanização agrícola a ações de compressão, sem a ocorrência de mecanismos que contribuem para a estabilização dos agregados e para a formação de unidades estruturais.

Conclusões

Os resultados físico-hídricos levantados demonstraram que os efeitos do uso e manejo se manifestaram, principalmente, até os 20 cm de profundidade. Os maiores valores de densidade do solo foram observados sob culturas de grãos, tanto no Latossolo quanto no Nitossolo, com valores superiores aos considerados críticos na literatura.

A porosidade total também refletiu a ação das práticas de manejo, com valores reduzidos em superfície para os solos com culturas de grãos, em concordância com os dados de densidade do solo. Quanto à macroporosidade, os valores foram mais reduzidos no Latossolo com culturas de grãos e no

Nitossolo com pastagem e culturas de grãos, indicando uma camada superficial compactada.

A velocidade de infiltração e condutividade hidráulica apresentaram valores superiores em superfície, em desacordo ao observado na densidade do solo e porosidade total. Entretanto, foram muito inferiores aos obtidos em floresta nativa, que representa a condição ideal de infiltração e movimentação de água.

A estabilidade estrutural indicou agregados grandes para todos os usos avaliados. Mas não se pode afirmar que tratam-se de agregados formados naturalmente, principalmente nas culturas de grãos, podendo estar associados a forças de compressão, haja vista os resultados obtidos com a densidade do solo e porosidade.

A comparação entre os resultados obtidos com a floresta nativa e os demais usos demonstra a intensa alteração que os sistemas de manejo vêm ocasionando nos atributos dos solos, degradando as suas propriedades físicas e hídricas. A ocorrência de horizontes compactados facilita a ação dos agentes de erosão, aumentando a quantidade de água que escoia superficial e subsuperficialmente, ocasionando na erosão e deposição de sedimentos nos cursos d'água. Diante disso, é necessário buscar o correto manejo do solo, melhorando a sua qualidade estrutural e seus atributos físicos e hídricos, garantindo a manutenção da qualidade da água e a sustentabilidade da bacia hidrográfica.

Referências

- Abreu, S.L., Reichert, J.M., Reinert, D.J., 2004. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-arenoso sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 519-531.
- Albuquerque, J.A., Sangoi, L., Ender, M., 2001. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25, 717-723.
- Albuquerque, J.A., Argenton, J., Bayer, C., Wildner, L.P., Kuntze, M.A.G., 2005. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29, 415-424.
- Araujo, M.A., Tormena, C.A., Silva, A.P., 2004. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 337-345.
- Assis, R.L., Lanças, K.P., 2005. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo

- convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29, 515-522.
- Bertol, I., Albuquerque, J.A., Leite, D., Amaral, A.J., Zoldan Junior, W.A., 2004. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 155-163.
- Bigarella, J.J., Mazuchowski, J.Z., 1985. Visão integrada da problemática da erosão. In: 3º Simpósio de Controle da Erosão, ABGE/ADEA, Maringá-PR.
- Brasil, Ministério do Interior, Organização dos Estados Americanos., 1972. Relatório do Estudo para o Controle da Erosão no Noroeste do Estado do Paraná. Curitiba.
- Carpenedo, V., 1985. Qualidade e estabilidade de agregados de Latossolo Roxo submetido a diferentes manejos. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Dalbiano, L., 2009. Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia rural. Dissertação (Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.
- Elrick, D.E., Reynolds, W.D., Tan, K.A., 1989. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Summer*, 184- 193.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 1984. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 1988. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. EMBRAPA SNLCS, Rio de Janeiro.
- EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo, 2 ed. Ministério da Agricultura e Abastecimento, Rio de Janeiro.
- EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 2006. Centro Nacional de Pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, 2.ed. EMBRAPA –SPI, Rio de Janeiro.
- Fasolo, P.J., Cardoso, A. P., Hochmüller, D.P., Rauen, M.J. & Pötter, R.O., 1988. Erosão: Inventário de áreas críticas no Noroeste do Paraná. IAPAR, Londrina.
- Gennaro, L.A., Souza, Z.M., Silva, L.F.S., Cooper, M., Campos, M.C.C., 2015. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39, 608-614.
- Guimaraes, E. C., 2000. Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. Tese (Doutorado). Campinas, Universidade Estadual de Campinas.
- Hickmann, C., Costa, L.M., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes, R.B.A., Andrade, C.L.T., 2012. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. *Revista Caatinga* 25, 128-136.
- Jakelaitis, A., Silva, A., Santos, J.B., Vivian, R., 2008. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 38, 118-127.
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Weinhold, B.J., Doran, J.W., 2003. Soil quality: Humankind's foundation for survival. *Journal of soil and water conservation* 58, 171- 179.
- Lepsch, I.F., 2011. 19 Lições de Pedologia. Oficina de textos, São Paulo.
- Lemos, R.C., Santos, R.D. Manual de método de trabalho de campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Rio de Janeiro.
- MINEROPAR., 2001. Atlas Geológico do Estado do Paraná: Minerais do Paraná, Curitiba. CD ROM.
- Nóbrega, M.T., Serra, E., Silveira, H., Terassi, P.M.B., Bonifácio, C.M., 2015. Landscape structure in the Pirapó, Paranapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná. *Brazilian Journal of Biology* 75.
- Oliveira, P.R., Centurion, J.F., Centurion, M.A.P.C., Rosseti, K.V., Ferraud, A.S., Franco, H.B.J., Pereira, F.S., Bárbaro Junior, L.S., 2013. Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido à compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37, 604-612.
- Oliveira, D.M.S., Lima, R.P., Jan Verburg, E.E., 2015. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 280-285.
- Ortigara, C. Koppe, E., Luz, F.B., Bertollo, A.M., Kaiser, D.R., Silva, V.R., 2014. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38, 619-626.
- Piccirillo, E.M., Bellieni, G.; Comin-Chiaramonti, P., Ernesto, M., Melfi, A.J., Pacca, I.G., Ussami, N., 1988. Significance of the Paraná

- flood volcanism in the Disruption of western Gondwanaland, in: Piccirillo, E.M., Melfi, A.J. (Eds), The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects. IAG-USP, São Paulo, pp. 285–295.
- Primavesi, A., 2002. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. Nobel, São Paulo.
- Reichert, J.M., Reinert, D.J., Braida, J.A., 2003. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente* 27, 29-48.
- Reichert, J.M., Suzuki, L.E.A.S., Reinert, D.J., 2007. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos Ciência do Solo* 5, 49-134.
- Rodrigues, S., 2009. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob plantio direto e preparo convencional. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, Universidade de São Paulo.
- Rosseti, K.V., Centurion, J.F., Souza Neto, E.L., 2013. Physical quality of na Oxisol after different periods of management systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37, 1522-1534.
- Salton, J.C., Mielniczuk, J., Bayer, C., Boeni, M., Conceição, P.C., Fabricio, A.C., Macedo, M.C.M., Broch., 2008. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 11-21.
- Santos, D., Souza, E.G., Nóbrega, L.H.P., Bazzi, C.L., Gonçalves Junior, A.C., 2012. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16, 843-848.
- Scherpinski, C., Uribe, M.A.O., Vilas Boas, M. A., Sampaio, S. C., Johann, J. A., 2010. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. *Acta Scientiarum Agronomy* 32.
- SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos., 2013. Bacias hidrográficas do Paraná: série histórica, 2.ed. Governo do Estado do Paraná, Curitiba.
- Silva, I.F., Mielniczuk, J., 1998. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 22, 311-317.
- Silva, M.A.S., Mafra, A.L., Albuquerque, A., Rosa, J.D., Bayer, C., Mielniczuk, J., 2006. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30, 329-337.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of Ryegrass. *Aust. J. Soil. Res.* 17, 429-442.
- Tormena, C.A., Barbosa, M.C., Costa, A.C.S., Gonçalves, A.C.A., 2002. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola* 59, 795-801.
- Tormena, C.A., Friedrich, J.C., Pintro, J.C., Costa, A.C.S., Fidalski, J., 2004. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 1023-1031.
- Walkley, A., Black, I. A., 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-38.
- Wendling, B., Jucksch, I., Mendonça, E.S., Neves, J.C.L.N., 2005. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40, 487-494.
- Zou, K.H., Tuncali, K., Silverman, S.G., 2003. Correlation and simple linear regression. *Radiology* 227.