

# **AVALIAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DO LATOSSOLO VERMELHO TEXTURA ARGILOSA: SUBSÍDIOS A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO PIRAPÓ-PR**

Francieli Sant'ana MARCATTO<sup>1</sup>

Hélio SILVEIRA <sup>2</sup>

## **RESUMO**

A avaliação dos atributos físicos e hídricos dos solos são importantes indicadores dos processos atuantes em uma bacia hidrográfica. Diante disso, o trabalho objetiva avaliar o comportamento físico-hídrico do Latossolo Vermelho textura argilosa, em diferentes usos na bacia hidrográfica do Pirapó. Foram realizadas coletas de amostras nos horizontes superficiais (Ap) e subsuperficiais (até 20 cm de profundidade) do Latossolo Vermelho sobre os usos de pastagem, culturas temporárias e floresta nativa seguindo os critérios do manual de descrição e coleta de solo no campo (LEMOS e SANTOS, 1996). Para cada tipo de solo e uso foi determinada a densidade dos solos, densidade de partículas e porosidade total de acordo com os critérios estabelecidos no manual de métodos de análise do solo (EMBRAPA, 1997). A permeabilidade foi determinada com o uso do permeâmetro de Guelph, com o método de uma carga hidráulica e a resistência à penetração com o penetrômetro de impacto. Pode-se concluir que as piores condições foram encontradas no Latossolo Vermelho sob culturas temporárias, sendo necessárias medidas que busquem melhorar os atributos físico-hídricos do solo.

**Palavras chave:** Permeabilidade. Bacia hidrográfica do Pirapó. Latossolo Vermelho.

---

<sup>1</sup> Licenciada e Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UEM.

<sup>2</sup> Licenciado e Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Geografia e Doutor em Geociências pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Docente do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UEM.

## **PHYSICAL-HYDRIC ASSESSMENT OF RED OXISOL CLAY TEXTURE: SUBSIDIES FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE PIRAPÓ-PR-BASIL**

### **ABSTRACT**

The assessment of physical and hydric attributes of the soils is important to indicate the active processes in a river basin. In this context, the objective of this study is to assess the physical-hydric behavior of the red Oxisol clay texture for different uses in Pirapó river basin. We collected samples of the red Oxisol clay texture soil surface (Ap) and subsurface (until 20 cm deep) for grazing, temporary crops and native forest according to the criteria in the manual to soil description and collection in the field (LEMOS and SANTOS, 1996). For each type of soil and use, was determined soil density, particles density and total porosity according to criteria in the manual to methods of soil analysis (EMBRAPA, 1997). Permeability was established using Guelph permeameter with the method of one hydraulic load and the resistance to penetration with impact penetrometer. We found the worst conditions were found in the red Oxisol under temporary crops requiring measures to improve the physical and hydric attributes of the soil.

**Keywords:** Permeability. Pirapó River basin. Red Oxisol.

## 1 INTRODUÇÃO

Toda intervenção humana no meio natural provoca alterações, principalmente aquelas para produção de alimentos. Quando a ocupação do meio natural é efetuada sem planejamento, é favorecida a vigência de condições de alta energia no ecossistema, seja pelas mudanças hidrológicas provocadas pelo desmatamento, seja pelas modificações nas características superficiais, causando uma redução acentuada, pelo menos temporária, da permeabilidade.

Para Oliveira et al. (1995), a substituição de florestas por culturas agrícolas causa, invariavelmente, mudanças nas características físicas e químicas dos solos que, em muitos casos, levam a uma degradação e, conseqüentemente, a perdas na produtividade do sistema de produção agrícola. A alteração de algumas propriedades físicas, como a porosidade e densidade, pode dificultar a penetração das águas das chuvas ou da irrigação nos solos, e aumentar o escoamento superficial, implicando numa maior taxa erosiva e na remoção dos sedimentos nas vertentes, os quais são carregados para as baixadas, entulhando-as e assoreando os leitos dos rios e represas (BIGARELLA, 1974; SUGUIO E BIGARELLA, 1979; JUSTUS, 1985; CASTRO, 1987). Essa degradação se processa pela erosão laminar ou em lençol, carreando os horizontes superficiais e férteis do solo agrícola, como também através da erosão concentrada, formando sulcos, ravinas e voçorocas (BIGARELLA, 1974).

Os sistemas de uso e manejo devem manter a capacidade do solo de exercer as funções físicas para o crescimento das raízes das plantas, bem como favorecer o suprimento de água, nutrientes e oxigênio. As perdas de solo por erosão, a redução de matéria orgânica, a compactação, a diminuição da porosidade, da condutividade hidráulica e da permeabilidade, são algumas das conseqüências do mau uso do recurso solo (BLAINSK et al., 2008; PEDROTTI et al., 2001).

Dessa forma, devem ser aplicadas técnicas de manejo do solo que preservem e melhorem a sua bioestrutura. Albuquerque et al. (1995) afirmam que a rotação de culturas e os sistemas de manejo devem agir na minimização da erosão hídrica e na recuperação de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, restaurando a estrutura do solo. O autor indica ainda, que uma adequada cobertura do solo por resíduos culturais pode prevenir a erosão, manter o conteúdo de matéria orgânica e permitir a sustentabilidade, sendo possível esses resultados a partir do uso de sistemas conservacionistas, como o plantio direto.

A compactação é uma das graves consequências do uso inadequado do solo. O tráfego intenso de máquinas agrícolas promove a aproximação das partículas, resultando em menor porosidade e aumento da densidade. A redução dos macroporos do solo atinge as suas propriedades físico-hídricas, reduzindo a capacidade de armazenamento e disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas. A taxa de mobilização de água no perfil, a troca gasosa do solo com a atmosfera, o aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, afeta ainda, a função do solo como filtro da água de reposição do lençol freático. Tais características facilitam a ocorrência de processos erosivos, o principal fator de degradação das propriedades dos solos, que aumentam o assoreamento dos cursos d'água e reduzem a produtividade (REICHARDT, 1990; KOCHHANN et al., 2000; GOEDERT et al., 2002; ARAUJO et al., 2007).

Associada a compactação está a redução da condutividade hidráulica do solo e o aumento da resistência mecânica do solo à penetração. A resistência à penetração exprime a facilidade de penetração das raízes do solo e pode ser bastante variada, pois sofre influências das condições de manejo do solo, da intensidade do tráfego de máquinas agrícolas e da umidade do solo. Um solo com alta resistência à penetração pode limitar o crescimento e o desenvolvimento radicular e diminuir a produtividade das culturas (RIBON et al., 2003; SILVA et al., 2004; SILVA et al., 2009).

Para Reichert et al. (2007) a umidade do solo, a sua textura e a densidade do solo influenciam em uma maior resistência à penetração. Assim, um solo seco ou mais denso apresenta maior resistência se comparado a um solo úmido ou menos denso, enquanto, para uma mesma umidade, um solo argiloso apresenta maior resistência que um solo arenoso.

Araujo et al. (2007) avaliando a qualidade de um Latossolo Vermelho-amarelo sob pastagem natural, pastagem cultivada, cultivo convencional e florestamento de pinus no Distrito Federal, concluiu que os atributos físicos dos solos foram mais afetados de acordo com a intensidade de uso. Segundo o autor, dos atributos físicos testados, a resistência mecânica a penetração refletiu com maior nitidez as diferenças de qualidade do solo entre as áreas avaliadas, se constituindo como um importante indicador, tanto para estimar o grau de sustentabilidade de atividades agropecuárias quanto para quantificar danos ao meio ambiente. Diversos autores avaliaram a resistência à penetração como um bom indicador de solos compactados, até mesmo quando comparados aos resultados de densidade do solo (STRECK et al., 2004; ABREU et al., 2004; SANTANA et al., 2006; SILVA et al., 2006; ARAUJO et al., 2007).

Para Silva et al. (2003) o movimento de água no solo depende da quantidade de água envolvida no processo e das diferenças de potencial da água entre diferentes pontos do perfil do solo. A magnitude e a direção do movimento de água dependem diretamente da condutividade hidráulica e dos gradientes de potencial hídrico no sistema solo-água.

A permeabilidade está associada a fatores como a quantidade, continuidade e tamanho dos poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água. Conhecer a velocidade de infiltração da água no solo e a condutividade hidráulica são fundamentais a solução de problemas como a irrigação, drenagem, conservação do solo e da água e o controle do deflúvio superficial (SOUZA e ALVES, 2003).

A condutividade hidráulica, de acordo com Carvalho (2002), apresenta papel de destaque, já que indica a capacidade e rapidez com que o solo conduz a água, sendo um atributo expressivo na análise da dinâmica e do armazenamento de água no solo. Além disso, é um parâmetro fundamental para determinar ou prever o funcionamento hídrico dos diferentes tipos de coberturas do solo. O estudo da condutividade hidráulica permite diferenciar os efeitos dos sistemas de preparo do solo na movimentação de água no perfil, o qual, quanto maior for a compactação, menor será a permeabilidade, tornando os solos mais vulneráveis à erosão (SILVA et al., 2006; ASSIS e LANÇAS, 2005; FIORI et al., 2010).

Beutler et al. (2003) estudaram a influência da compactação e do cultivo de soja nos atributos físicos e na condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho, obtendo como resultados a redução da condutividade hidráulica em solos compactados, confirmando a relação existente entre as duas variáveis.

Assis e Lanças (2005) estudando os efeitos nos atributos físicos do solo de acordo com o tempo de adoção do sistema de plantio direto, comparado a floresta nativa e ao plantio convencional em um Nitossolo Vermelho distroférico, obtiveram como resultado melhores condições de permeabilidade no sistema de plantio direto com 12 anos de cultivo e na floresta natural. O estudo realizado com o Permeâmetro de Guelph indicou condutividade hidráulica de 15 e 11 vezes superiores no plantio direto com 12 anos e floresta nativa, respectivamente, comparado ao solo com cultivo convencional. Esse resultado pode ser atribuído, de acordo com os autores, ao fato do plantio direto manter as condições do solo mais próximas às condições naturais.

Diante disso, a avaliação dos atributos físicos e hídricos dos solos são importantes indicadores dos processos atuantes em uma bacia hidrográfica. Se o solo possui uma má qualidade

estrutural diante de uma prática agrícola inadequada, estará sujeito mais intensamente aos processos erosivos, que irão refletir na qualidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo geral avaliar o comportamento físico-hídrico do Latossolo Vermelho textura argilosa, em diferentes tipos de uso na bacia hidrográfica do Pirapó. Serão avaliadas a densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração e permeabilidade dos horizontes superficiais (Ap) e subsuperficiais (até 20 cm de profundidade) do Latossolo.

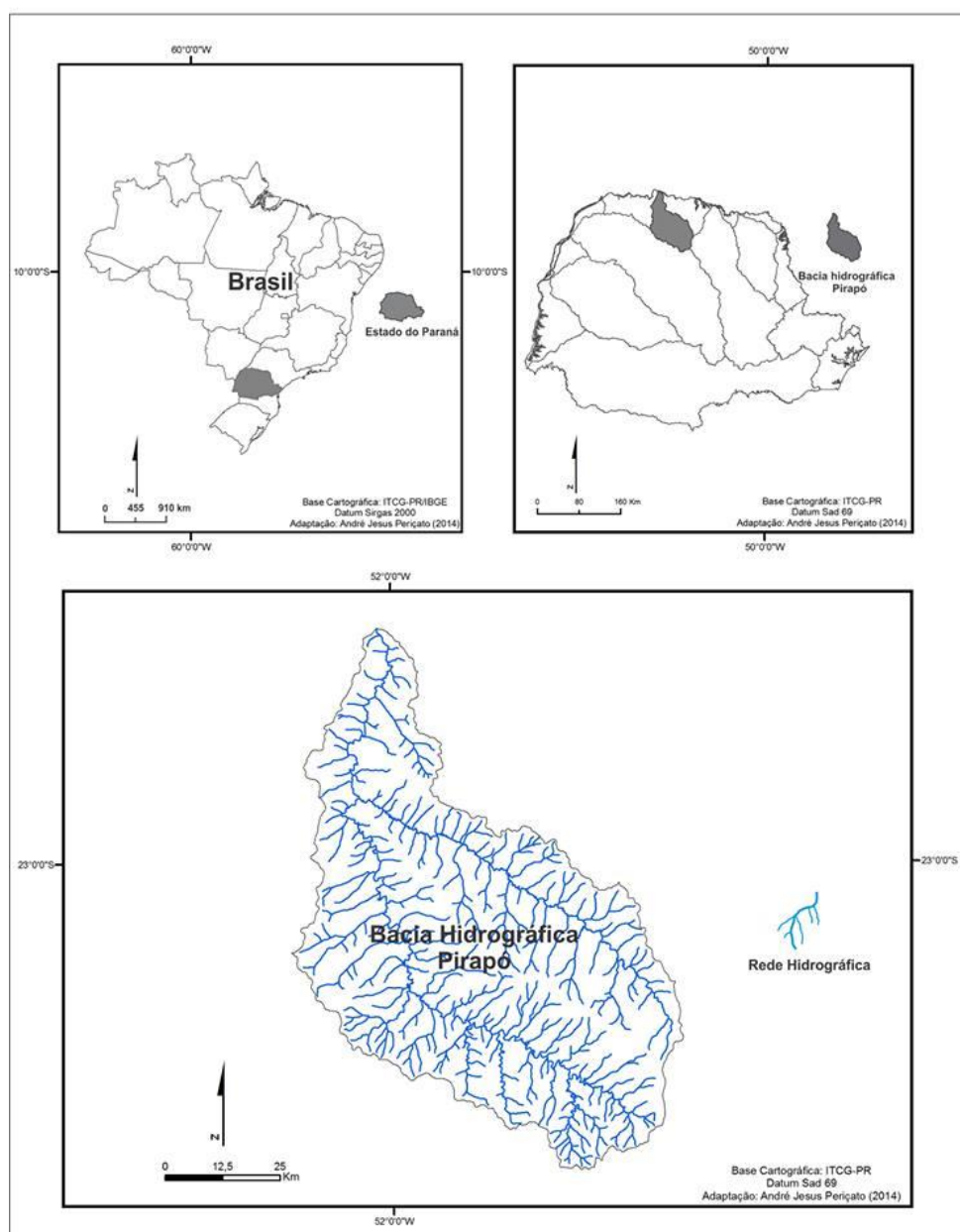
## 2 METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Pirapó está situada no Terceiro Planalto Paranaense, entre os paralelos de 22°30' e 23°30' de latitude Sul e os meridianos de 51°15' e 52°15' de longitude Oeste de Greenwich. A área da bacia abrange uma superfície aproximada de 5.076 km<sup>2</sup> e localiza-se no setor norte e noroeste do Paraná (Figura 1). O rio Pirapó tem suas nascentes nas proximidades da cidade de Apucarana, numa altitude de 900 metros.

A área correspondente a bacia do rio Pirapó está inserida em quatro unidades litológicas: o basalto da Formação Serra Geral, correspondente ao grande derrame de rochas básicas ocorridos durante o jurássico-triássico da era mesozoica, e as Formações Adamantina, Caiuá, Santo Anastácio, que são rochas areníticas, formadas no período cretáceo da era mesozóica. Verificam-se também alguns setores de depósitos aluviais da era cenozóica e do período quaternário (THOMAZ, 1981; MINEROPAR, 2001).

Em consequência da litologia e relevo, a bacia do rio Pirapó apresenta diversos tipos de solos. Nos setores onde os solos são oriundos da alteração de rochas básicas (basalto) da Formação Serra Geral são encontrados os Latossolos Vermelhos, os Nitossolos Vermelhos e o Neossolos Regolíticos, ambos de textura argilosa. Nos setores onde ocorrem as formações areníticas, os solos derivados dessas rochas são os Latossolos Vermelho de textura média e os Argissolos Vermelho de textura arenosa/ média predominantemente (EMBRAPA, 2007).

Quanto às características climáticas, a bacia hidrográfica do Pirapó pode ser definida, de acordo com a classificação de Köppen em Cfa, Subtropical úmido mesotérmico, com temperatura dos meses mais quentes superior a 22°C e nos meses mais frios inferior a 18°C (CAVIGLIONE et al., 2000).



**Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Pirapó.**

Inicialmente foi realizado um levantamento exploratório a fim de selecionar os usos e o solo com maior representatividade na bacia hidrográfica do Pirapó. Foram realizadas coletas de amostras nos horizontes superficiais (Ap) e subsuperficiais (até 20 cm de profundidade) do Latossolo Vermelho de textura argilosa sobre os usos de pastagem, culturas temporárias e floresta nativa seguindo os critérios do manual de descrição e coleta de solo no campo (LEMOS e SANTOS, 1996). Para cada tipo de uso foi determinada a densidade dos solos, densidade de partículas, porosidade total, umidade, permeabilidade e resistência à penetração.

Os ensaios laboratoriais de densidade do solo, porosidade total e umidade foram determinados a partir da metodologia descrita no manual de métodos de análise do solo (EMBRAPA, 1997).

A determinação da permeabilidade do solo foi realizada a partir do Permeâmetro de Guelph, que mede a condutividade saturada de campo acima do lençol freático. Para determinar os parâmetros correspondentes à infiltração dos solos, foi utilizado o método de uma carga hidráulica (ELRICK et al., 1989). Este método consiste em aplicar uma altura de carga hidráulica  $H$  constante e quando o regime permanente é atingido, a vazão  $Q$  e a condutividade hidráulica de campo ( $K_{fs}$ ) são determinados por:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + \frac{2\pi h}{\alpha})}$$

Onde:

$C$  é o parâmetro fator de forma, que depende da relação  $H/a$  e do tipo do solo,  $H$  é altura da carga hidráulica utilizada (8cm),  $a$  é o diâmetro do orifício aberto pelo trado no solo (3,1 cm) e o parâmetro  $\alpha$  que é estimado inicialmente por avaliação visual *in situ* da macroporosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc.) e textura do solo.

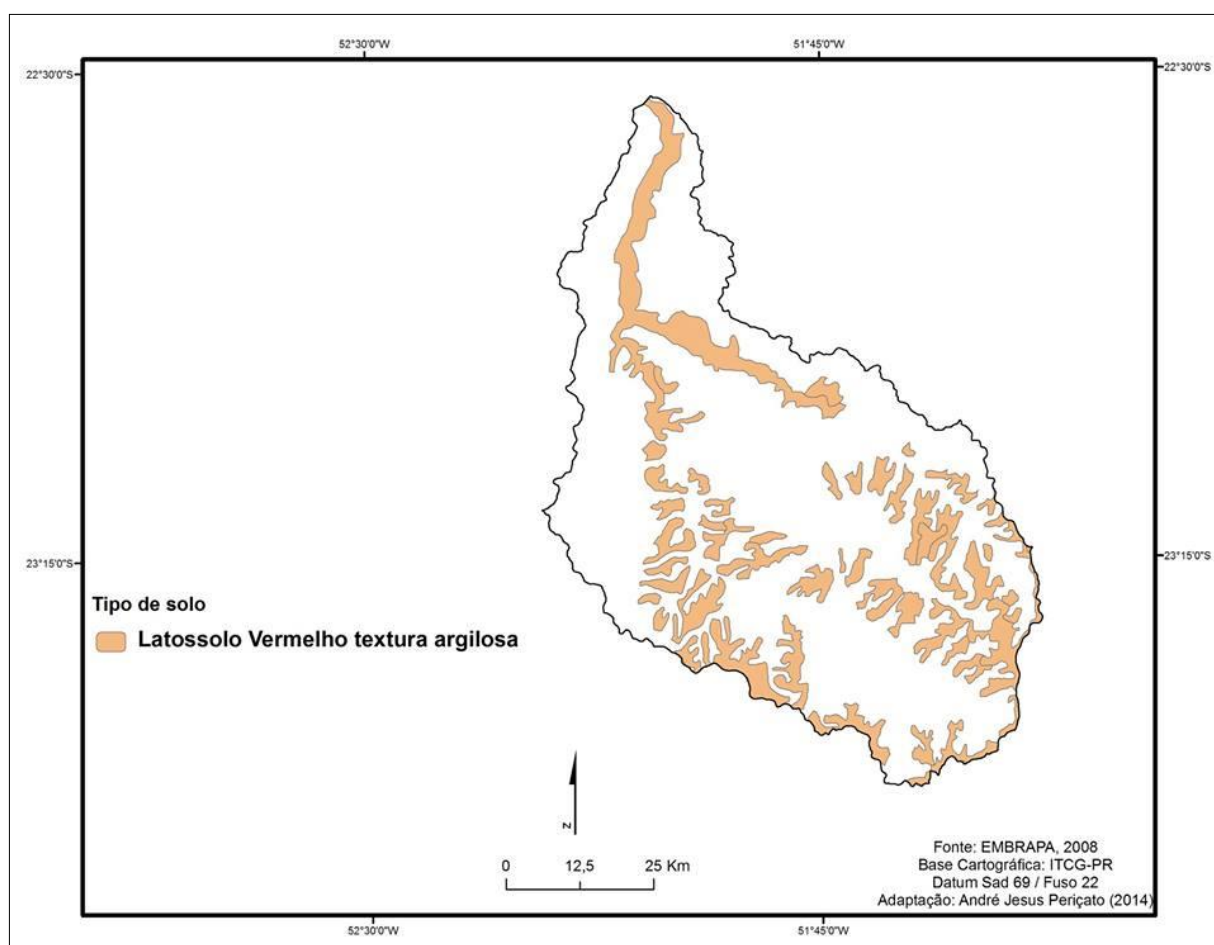
Como parâmetro classificatório dos resultados hídricos obtidos em campo foi utilizado o critério estabelecido por Freeze e Cherry (1979 apud FIORI, 2010), como pode ser observado na Tabela 1. A resistência à penetração foi determinada com o uso do Penetrômetro Geotester Pocket, com a utilização da ponta de 10 mm de diâmetro.

**Tabela 1 – Classes de condutividade hidráulica conforme Freeze e Cherry (1979 apud FIORI, 2010).**

| Condutividade hidráulica (m/s) | Classes     |
|--------------------------------|-------------|
| $>10^{-3}$                     | Muito alta  |
| $10^{-3}$ a $10^{-5}$          | Alta        |
| $10^{-6}$                      | Moderada    |
| $10^{-7}$ a $10^{-8}$          | Baixa       |
| $<10^{-8}$                     | Muito baixa |

### 3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

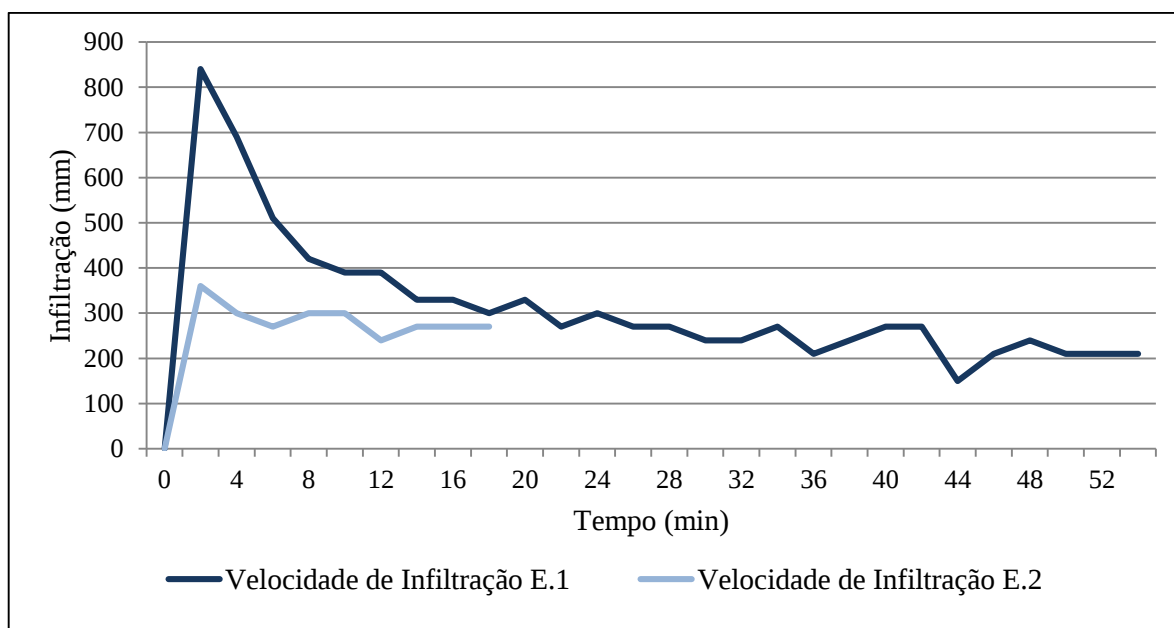
A bacia hidrográfica do Pirapó apresenta uma grande variedade de solos, o qual o Latossolo Vermelho textura argilosa possui uma significativa representatividade (Figura 2), ocupando principalmente o topo das vertentes, com relevos planos a suave ondulados. Esse solo tem por característica uma alta porosidade e boa permeabilidade, e a sua ocorrência em relevos pouco dissecados garante a baixa suscetibilidade natural à erosão. No entanto, quando sob cultivo, o grau de declividade, o tipo de manejo e cobertura do solo e o tempo de utilização, tem considerável influência na maior ou menor resistência à erosão (EMBRAPA, 1984).



**Figura 2 – Distribuição espacial do Latossolo Vermelho de textura argilosa na Bacia hidrográfica do rio Pirapó.**

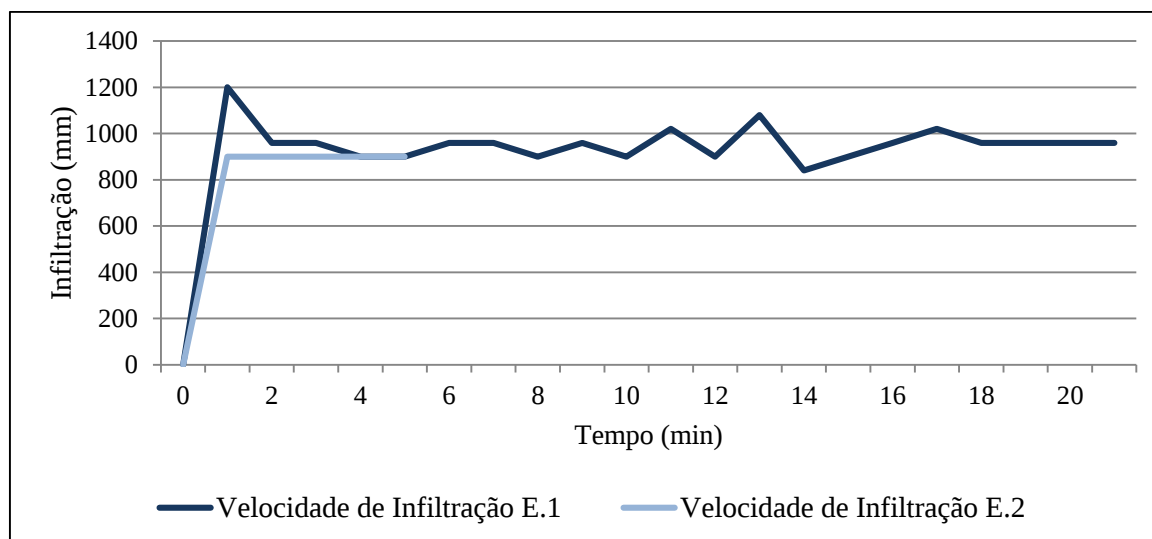
Devido às características físicas do Latossolo Vermelho de textura argilosa, como a menor suscetibilidade à erosão e maior fertilidade natural, predominam o cultivo de culturas de grãos, como a soja, o milho e o trigo.

Na avaliação da permeabilidade do Latossolo sob culturas temporárias (soja, milho e trigo), o ensaio 1 apresentou infiltração de 210 mm/h (0,058 mm/s). Para o ensaio 2 a infiltração foi de 270 mm/h (0,075 mm/s), com média aproximada de 240 mm/h (0,066 mm/s) (Figura 3) (Tabela 2). O desvio padrão foi de 42,426 mm/h e coeficiente de variação de 18%. A condutividade hidráulica saturada, determinada em campo com o permeâmetro de Guelph indicou  $1,5 \times 10^{-3}$  mm/h.



**Figura 3 – Velocidade de infiltração no Ensaio 1 (E.1) e Ensaio 2 (E.2) no Latossolo Vermelho textura argilosa sob culturas temporárias na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR.**

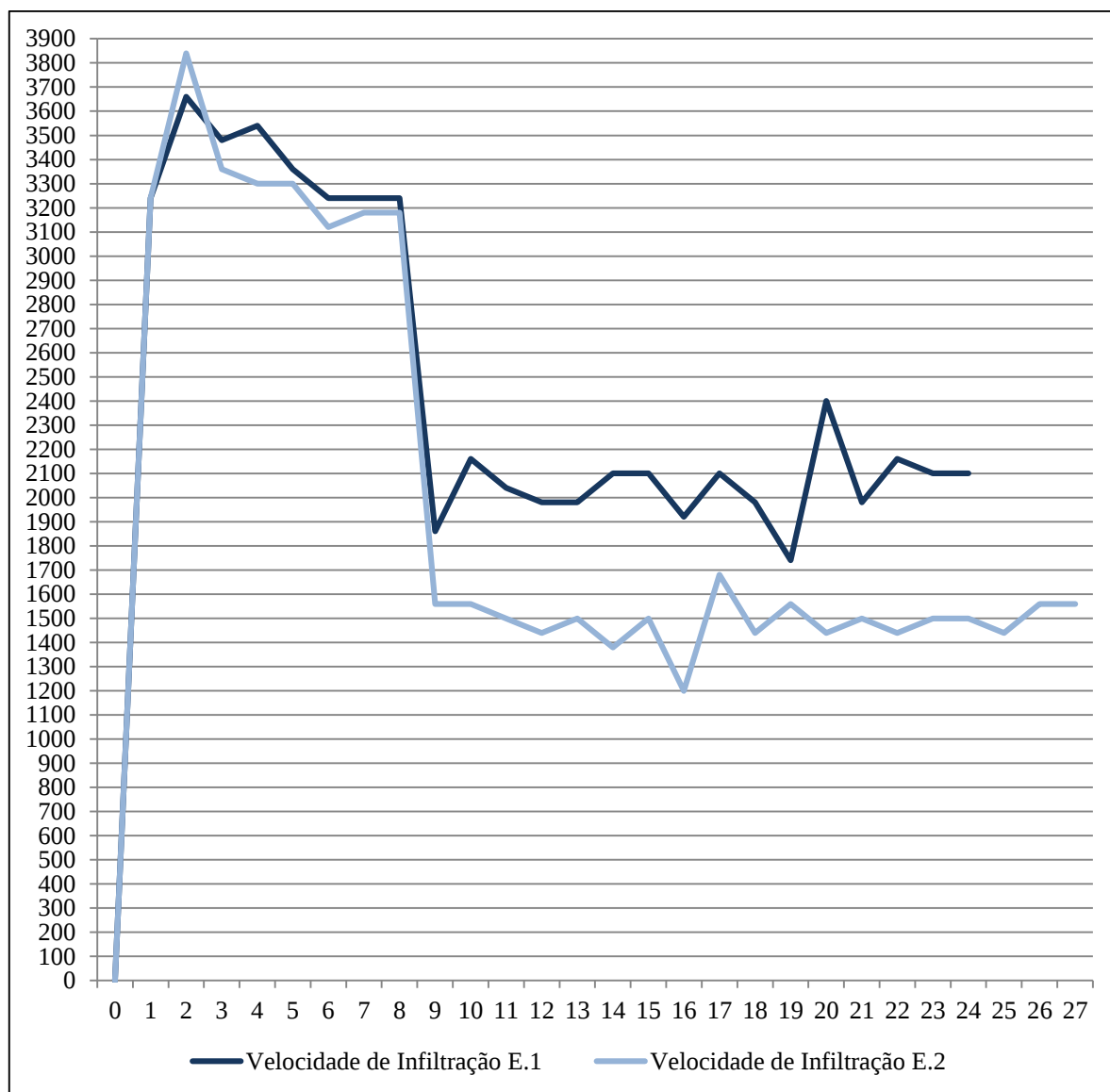
Para o uso com pastagem a infiltração observada foi de 960 mm/h (0,266 mm/s) para o ensaio 1 e 900 mm/h (0,25 mm/s) para o ensaio 2, com valores médios de 930 mm/h (0,258 mm/s) (Figura 4). O desvio padrão foi de 42,426 mm/h, com coeficiente de variação de 5%, o menor para os usos em estudo (Tabela 2). O cálculo da condutividade hidráulica indicou  $5,8 \times 10^{-3}$  mm/h.



**Figura 4 – Velocidade de infiltração no Ensaio 1 (E.1) e Ensaio 2 (E.2) no Latossolo Vermelho textura argilosa sob pastagem na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR.**

Os melhores valores de permeabilidade foram encontrados no Latossolo Vermelho sob floresta nativa (Floresta Estacional Semidecidual), com infiltração de 2100 mm/h (0,583 mm/s) para o ensaio 1 e 1560mm/h (0,433 mm/s) para o ensaio 2, obtendo média de 1830 mm/h (0,508 mm/s) (Figura 5). A condutividade hidráulica indicou  $1,14 \times 10^{-2}$  mm/h, valor muito superior comparado aos usos com culturas temporárias e pastagem. Também foram encontrados os maiores valores de coeficiente de variação e desvio padrão, com 21% e 381,837 mm/h, respectivamente (Tabela 2).

Scherpinski et al. (2010) avaliando a variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração de água no solo usando o Permeômetro de Guelph, encontraram elevados valores de coeficiente de variação (90,83%), atribuindo o resultado como dependente do espaço poroso do solo e de sua variação estrutural. O elevado coeficiente de variação pode estar associado ainda a grande variedade de espécies vegetais presentes nas florestas, com diferentes tipos de sistemas radiculares, e a presença de animais cavadores encontrados nesses solos, próximo a superfície. Abreu et al. (2004), também encontraram valores elevados de coeficiente de variação (52,8%) da condutividade hidráulica feita com o permeômetro de Guelph, em estudo da compactação de um Argissolo franco-arenoso cultivado com plantio direto.



**Figura 5 – Velocidade de infiltração no Ensaio 1 (E.1) e Ensaio 2 (E.2) no Latossolo Vermelho textura argilosa sob floresta nativa na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR.**

As boas condições de permeabilidade na floresta, comparado aos outros sistemas de cultivos deve-se a manutenção das condições naturais do solo, sem interferência direta de uso e manejo de qualquer tipo de cultura comercial. A floresta frequentemente tem sido usada como parâmetro de comparação, devido a sua maior conservação das propriedades químicas, físicas e hídricas dos solos. Diversos autores avaliaram as mudanças nas propriedades físicas dos solos utilizando-a como referência, obtendo como resultado menores valores de densidade do solo e um incremento na porosidade total. (ASSIS e LANÇAS, 2005; JAKELAITIS et al., 2008; ARAUJO et al., 2004).

**Tabela 2 – Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação da infiltração de água em Latossolo Vermelho textura argilosa sob culturas temporárias, pastagem e floresta na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR.**

| <b>Estatística</b>   | <b>LV Culturas</b> | <b>LV Pastagem</b> | <b>LV Floresta</b> |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Média (mm/h)         | 240                | 930                | 1830               |
| Desvio Padrão (mm/h) | 42,426             | 42,426             | 381,837            |
| CV (%)               | 18%                | 5%                 | 21%                |

CV: Coeficiente de variação

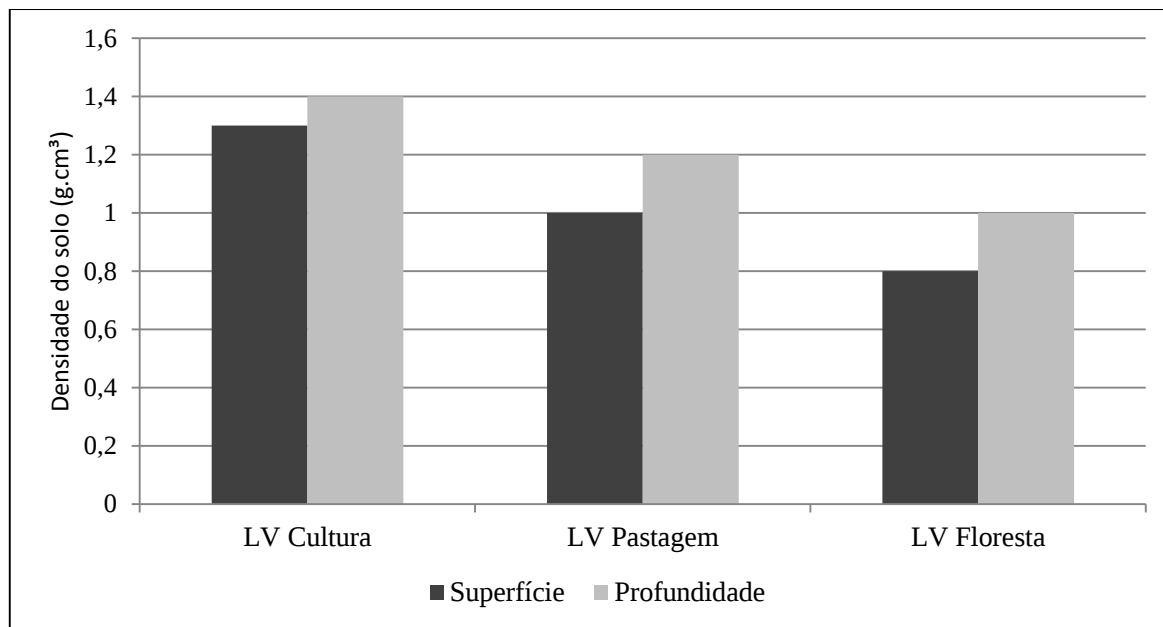
Assim, o Latossolo cultivado com culturas temporárias apresentou condutividade hidráulica de  $1,5 \times 10^{-3}$  mm/h ( $1,5 \times 10^{-6}$  m/s) e o Latossolo com pastagem de  $5,8 \times 10^{-3}$  mm/h ( $5,8 \times 10^{-6}$  m/s), sendo ambos classificados com moderada condutividade hidráulica (FREEZE e CHERRY 1979 apud FIORI, 2010). Para a floresta nativa a condutividade hidráulica foi de  $1,14 \times 10^{-2}$  mm/h ( $1,14 \times 10^{-5}$  m/s), incluindo-se na classe de alta condutividade hidráulica (FREEZE e CHERRY 1979 apud FIORI, 2010).

Nas análises físicas realizadas em laboratório pode-se verificar que os valores médios de densidade do solo para o Latossolo cultivado com culturas temporárias foi de  $1,3 \text{ g.cm}^3$  sob superfície e  $1,4 \text{ g.cm}^3$  a 20 cm de profundidade. No Latossolo sob pastagem a densidade do solo foi de  $1 \text{ g.cm}^3$  em superfície e  $1,2 \text{ g.cm}^3$  a 20 cm de profundidade. Para a floresta os valores de densidade foram de  $0,8 \text{ g.cm}^3$  e  $1 \text{ g.cm}^3$  em superfície e profundidade, respectivamente (Figura 6).

Para Bowen (1981 apud CAMARGO E ALLEONI, 1997) valores de densidade do solo superiores a  $1,55 \text{ Kg.dm}^3$  em solos de textura franco argilosos a argilosos são considerados críticos, podendo causar restrições ao desenvolvimento de raízes. Desta forma, a densidade do solo no Latossolo Vermelho de textura argilosa sob cultura foi a mais próxima aos valores considerados críticos ( $1,3 \text{ g.cm}^3$  em superfície e  $1,4 \text{ g.cm}^3$  em profundidade). Em todos os sistemas de cultivo foram observados incrementos nos valores de densidade do solo a 20 cm de profundidade. Nesse sentido, Reinert et al. (2008) obtiveram resultados semelhantes em avaliação a densidade do solo em um Argissolo Vermelho, com densidades menores nas camadas de 0 a 0,05 m e densidade superiores nas camadas de 0,05 a 0,30 m, atribuindo a menor densidade em horizontes superficiais como resultado da maior quantidade de raízes e o elevado teor de matéria orgânica, que possui papel preponderante na redução da densidade do solo.

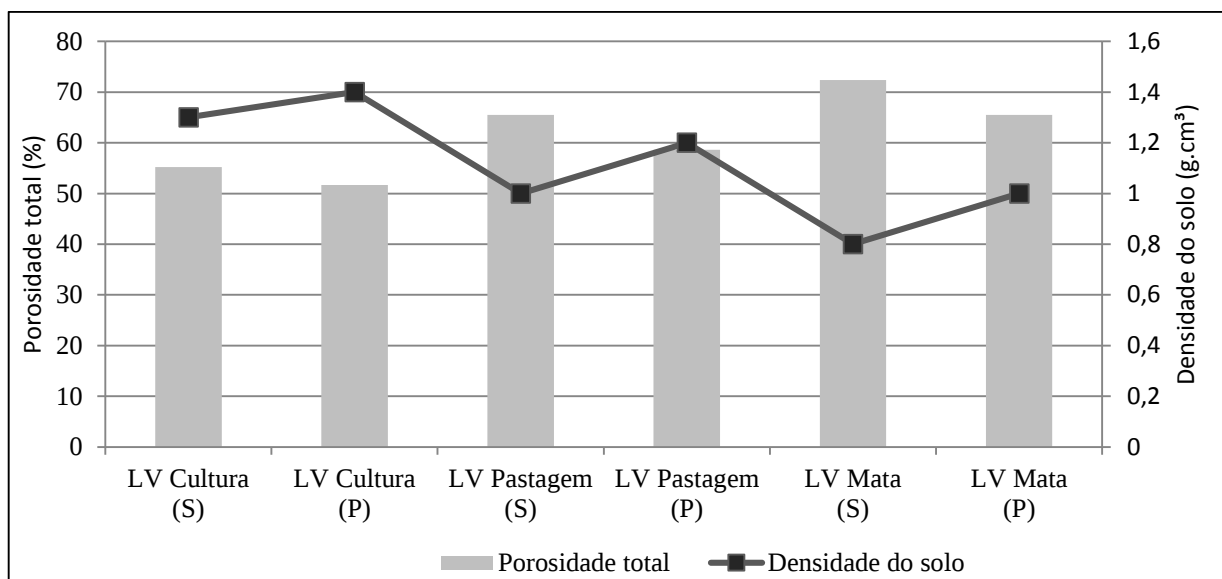
Cavenage et al. (1999) estudando as alterações das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas em Mato Grosso do Sul, encontrou em áreas com culturas

temporárias, valores de densidade do solo menor na camada de 0 a 10 cm ( $1,25 \text{ kg.dm}^3$ ) e valores superiores na camada de 20 a 40 cm ( $1,46 \text{ kg.dm}^3$ ), atribuindo os menores valores de densidade superficialmente à mobilização do solo durante o preparo. Em profundidade, o uso intensivo de implementos agrícolas e o tráfego excessivo de máquinas pesadas, provocaram a degradação da estrutura do solo, levando a compactação subsuperficial.



**Figura 6 – Densidade do solo dos horizontes superficiais e subsuperficiais de Latossolo Vermelho textura argilosa sob culturas temporárias, pastagem e floresta.**

A porosidade total apresentou valores decrescentes em profundidade e correlacionados com os valores de densidade do solo, o qual a elevação da densidade provocou a diminuição do espaço poroso (Figura 7). O Latossolo sob culturas temporárias apresentou a menor porosidade, com 55,2% em superfície, e 51,7% em profundidade. No uso com pastagem, em superfície a porosidade foi de 65,5% e a 20 cm de profundidade foi de 58,6%. Na área de floresta a porosidade total foi de 72,4% em superfície e 65,5% em profundidade. Para Secco et al. (2005) a porosidade e a densidade do solo são excelentes indicadores da qualidade do solo e do tipo de manejo a que está submetido. A avaliação desses atributos físicos permite monitorar a eficiência ou não destes sistemas de manejo, permitindo a evolução de técnicas agrícolas.



**Figura 7 – Relação entre a densidade do solo e porosidade total dos horizontes superficiais (S) e subsuperficiais (P) de Latossolo Vermelho textura argilosa (LV) sob culturas temporárias, pastagem e floresta.**

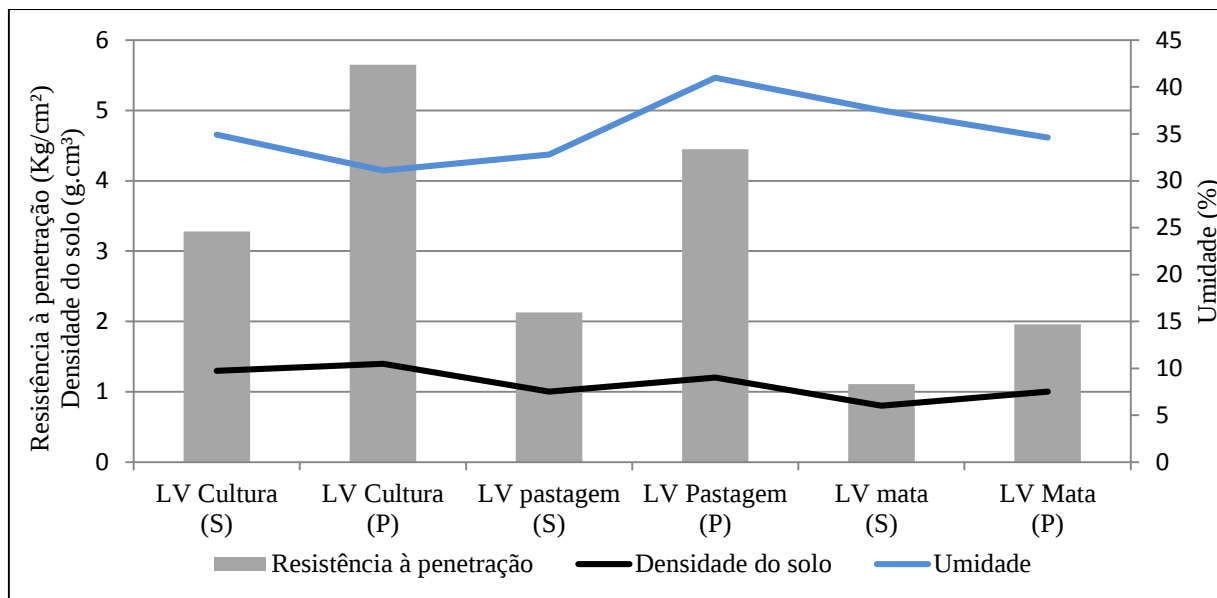
Quanto a resistência à penetração, de acordo com Tormena et al. (2002), sua análise deve integrar os efeitos da densidade do solo e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes. Os resultados de resistência à penetração para o Latossolo cultivado com culturas temporárias foi de 2,13 kg/cm² em superfície, com umidade de 32,8%. Em profundidade a resistência à penetração foi de 5,65 Kg/cm² e umidade de 31,1% (Figura 8). Para esse uso foi observado uma redução de umidade em profundidade não muito significativa, mas um considerável aumento na resistência à penetração. Tavares Filho et al. (2001) em estudo dos efeitos da resistência à penetração e umidade no desenvolvimento do sistema radicular do milho em um Latossolo Roxo no norte do Paraná, encontraram resultados semelhantes, com um aumento da resistência à penetração no sistema de plantio direto entre 15 e 30 cm de profundidade, comparados a resistência em superfície.

Para o Latossolo Vermelho sob pastagem a resistência à penetração foi de 3,28 kg/cm² em superfície, com umidade de 34,9%, e em subsuperfície a resistência foi de 4,45 kg/cm², com umidade de 41% (Figura 8).

Em floresta, o Latossolo apresentou umidade de 37,5% e resistência à penetração de 1,11 kg/cm² em superfície, o menor valor para os usos em estudo. Assim como no Latossolo sob cultura e pastagem, houve um incremento na resistência à penetração a 20 cm de profundidade, com 1,96

kg/cm<sup>2</sup> e umidade de 34,6% (Figura 8). Nesse uso (floresta) foi constatada a menor variação da resistência à penetração entre a superfície e o solo em profundidade.

Para todos os sistemas de cultivo em estudo foram observados valores de resistência à penetração mais elevados em profundidade comparados aos resultados em superfície, concordando com os resultados de densidade do solo.



**Figura 8 – Resistência à penetração, densidade do solo e umidade dos horizontes superficiais (S) e subsuperficiais (P) de um Latossolo Vermelho textura argilosa (LV) sob culturas temporárias, pastagem e floresta.**

Com bases nos resultados de permeabilidade, densidade do solo, porosidade total e resistência à penetração, foi possível avaliar os solos com melhor qualidade físico-hídrico e quais encontram-se em processo de degradação. O Latossolo Vermelho textura argilosa sob culturas temporárias apresentou os piores resultados em todos os ensaios físico-hídricos realizados, com elevados valores de densidade do solo tanto em superfície, quanto em profundidade (1,3 e 1,4 g.cm<sup>3</sup>, respectivamente), os menores valores de porosidade total (55,2% e 51,7%), a menor permeabilidade (240 mm/h) e condutividade hidráulica ( $1,5 \times 10^{-6}$  m/s) que comparada ao Latossolo sob floresta, foi aproximadamente 7 vezes menor. A resistência à penetração em superfície foi de 2,70 kg/cm<sup>2</sup> e em profundidade foi de 5,65 kg/cm<sup>2</sup>, indicando uma camada mais compactada em profundidade, resultado do tráfego de maquinários pesados no plantio e colheita das culturas.

As condições físico-hídricas do solo cultivado com pastagem foram melhores quando comparadas ao uso com culturas. Observou-se uma redução na densidade do solo ( $1,0 \text{ g.cm}^3$  em superfície e  $1,2 \text{ g.cm}^3$  em profundidade), incremento na porosidade total (65,5 e 58,6%), boa permeabilidade (930 mm/h). A resistência à penetração superficial foi a maior encontrada para os cultivos em estudo, com  $3,28 \text{ kg/cm}^2$  e em subsuperfície  $4,45 \text{ kg/cm}^2$ .

O Latossolo Vermelho sob floresta apresentou os melhores resultados em todos os ensaios realizados, com baixa densidade do solo ( $0,8 \text{ g.cm}^3$  em superfície e  $1,0 \text{ g.cm}^3$  em subsuperfície), elevada porosidade (72,4% e 65,5%), e permeabilidade (1830 mm/h), alta condutividade hidráulica ( $1,14 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ) e baixa resistência a penetração ( $1,11 \text{ kg/cm}^2$  em superfície e  $1,96 \text{ kg/cm}^2$  em subsuperfície).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a importância dos atributos físicos e hídricos dos solos como fatores determinantes para a saúde de uma bacia hidrográfica, foi possível concluir que o Latossolo Vermelho textura argilosa sob culturas temporárias apresentou elevada densidade do solo, reduzida porosidade total e permeabilidade, e elevada resistência a penetração, com indícios de uma camada mais compactada em profundidade, portanto o mais degradado. A presença de horizontes compactados aumenta o escoamento superficial e subsuperficial, ocasionando a erosão e a deposição de sedimentos nos cursos d'água. Assim, são necessárias medidas que busquem melhorar os atributos físico-hídricos do solo, garantindo a manutenção da qualidade da água na bacia hidrográfica e a produção agrícola.

O Latossolo Vermelho sob pastagem apresentou resultados intermediários entre o uso com culturas e floresta, com boa permeabilidade, porosidade total e densidade do solo em superfície. No entanto, os valores de resistência à penetração em superfície e profundidade foram elevados, assim como a densidade do solo em profundidade.

O solo com floresta apresentou os melhores resultados para todos os ensaios realizados, demonstrando uma boa qualidade físico-hídrica, com baixa densidade do solo, elevada porosidade e permeabilidade e baixa resistência à penetração, condições que garantem uma boa qualidade aos recursos hídricos.

## 5 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**, v.28, p.519-131, 2004.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p. 115-119, 1995.
- ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 337-345, 2004.
- ARAUJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.
- ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.515-522, 2005.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; SOUZA, Z.M. Influência da compactação e do cultivo de soja nos atributos físicos e na condutividade hidráulica em Latossolo Vermelho. **Irriga**, Botucatu, v.8, n.3, p.242-249, 2003.
- BIGARELLA J.J. **Segurança ambiental, uma questão de consciência... e muitas vezes de segurança nacional**. Curitiba: Associação dos Diplomados da Escola Superior de Guerra, 1974, 66 p.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R.M.L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, p.975-988, 2008.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997, 132 p.

CARVALHO, L.A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método d perfil instantâneo**. 2002. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CASTRO, O.M. et al. Caracterização química e física de dois Latossolos em plantio direto e convencional. **Boletim Científico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n.11, 1987.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD.

CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.997-1003, 1999.

ELRICK, D. E; REYNOLDS, W.D and TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. In: **Groudwater Monitoring Review**. Vol. 9, p.184-193, 1989.

EMBRAPA. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos/SUDESUL/IAPAR, 1984, Tomo I e II, 791p.

EMBRAPA. – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997, 212 p.

EMBRAPA. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Serviço de Produção de Informação, 2007, 412p.

FIORI, J.P.O.; CAMPOS, J.E.G.; ALMEIDA, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do Estado de Goiás. **Geociências**, São Paulo, v.29, n.2, p. 229-235, 2010.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p. 223-227, 2002.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.; SANTOS, J.B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p. 118-127, 2008.

JUSTUS, J.O. **Subsídios para interpretação morfofenética através da utilização de imagens de radar**. Salvador, UFBA, 1985, p.204. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Bahia, 1985.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000, 36p.

LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. 2001. Minerais do Paraná, Curitiba. 2001. 125p. CD ROM.

OLIVEIRA, J.C.M.; VAZ, C.M.P.; REICHARDT, K. Efeito do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v.52(1), p.50-55, 1995.

PEDROTTI, A.; PAULETO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.521-529, 2001.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole LTDA, 1990, 188p.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ci. Solo**, v.5, p.49-134, 2007.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 1805-1816, 2008.

RIBON, A.A.; CENTURION, J.F. CENTURION, M.A.P.C.; PEREIRA, G.T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.13-17, 2003.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.1-12, 2006.

SCHERPINSKI, C. ; URIBE, M.A.O. ; VILAS BOAS, M. A. ; SAMPAIO, S. C. ; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 07/32-13, 2010.

SECCO, D.; ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.407-414, 2005.

SILVA, E.M.; AZEVEDO, J.A.; RAUBER, J.C.; REATTO, A. Caracterização físico-hídrica e hidráulica de solos do bioma cerrado submetidos a diferentes sistemas de preparo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Planaltina- DF: EMBRAPA Cerrados, 2003.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p. 399-406, 2004.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira Agropecuária**, v.10, n.4, p.842-847, 2006.

SILVA, J.M.; PASSOS, A.L.R.; BELTRÃO, F.A.S. Análise espacial da densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração sob sistemas de cultivo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.3, p.103-118, 2009.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.7, n.1, p.18-23, 2003.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambiente fluvial**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná: Associação Defesa e Educação Ambiental, 1979. 183 p.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radícula do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.725-710, 2001.

THOMAZ, S. L. Sinopse sobre a geologia do Paraná. **Boletim de Geografia**, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Geografia, ano 02, n. 02, 1984.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.