



**Infiltração e Escoamento Superficial Sob
Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica**

Water Infiltration and Runoff Under Different Land Uses and Occupancy in a Hydrographic Basin

Pedro Daniel da Cunha Kemerich¹; Sérgio Roberto Martins²; Masato Kobiyama²; Carlos Eduardo Balestrin Flores¹; Willian Fernando de Borba¹; Gabriel D'Ávila Fernandes¹; Antônio Luis Santi & Mauricio Roberto Cherubin³

¹ Universidade Federal de Santa Maria,
Linha 7 de Setembro S/N BR 386, Km 40, 98400-000, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul

² Universidade Federal de Santa Catarina,
Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima Trindade, 88040-900, Florianópolis, Santa Catarina

³ Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
Av. Pádua Dias 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo

E-mails: eng.kemerich@yahoo.com.br; sergio@ens.ufsc.br; kobiyama@ens.ufsc.br; carlos.ebf@hotmail.com;
borba_willian@hotmail.com; gabrielfernandes118@hotmail.com; santi_pratica@yahoo.com.br; mauricio_eafs@yahoo.com.br

Recebido em: 08/04/2014 Aprovado em: 24/09/2014

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_75_88

Resumo

Com o aumento da área dos grandes centros urbanos e a diminuição da cobertura vegetal sobre a superfície do solo, ocorre um aumento das áreas impermeáveis, fazendo com que a água escoe carreando sedimentos até os cursos de água e reservatórios. Dessa maneira o presente estudo tem por objetivo analisar o escoamento e a infiltração de água no solo sob diferentes usos e ocupação em bacia hidrográfica. Para a realização dos testes foi utilizado o método "Cornell Sprinkle Infiltrometer", já para a determinação da compactação utilizou-se o um penetrômetro digital PLG 1020 PenetroLOG[®]. Foram observadas áreas onde não ocorreram escoamento superficial (áreas de mata nativa e área urbana) e áreas de arroz onde apresentaram as menores taxas. Em relação à resistência a penetração, a área de mata nativa apresentou os maiores valores, já os menores estiveram presentes sob o uso de pastagem e cultivo de arroz. Os pontos que apresentaram maior infiltração de água encontram-se sob o uso de campo nativo, pastagem e soja, respectivamente, já as menores taxas de infiltração foram obtidas nos pontos sobre o uso de arroz. As variáveis de tempo para início do escoamento superficial, taxa média de escoamento superficial e taxa média de infiltração instantânea a análise da variância na revelou efeito significativo dos usos e manejos do solo, pelo teste F (5%).

Palavras-chave: precipitação simulada; taxas de infiltração; taxas de escoamento superficial.

Abstract

With the increase of the area of large urban centers and the reduction of vegetation cover over the soil surface, there is an increase of impervious areas, causing the water from flowing carrying sediments to water courses and reservoirs. In this way the present study aims to analyze the runoff and water infiltration in the soil under different uses and occupancy in Hydrographic Basin. For performing the tests was used the method "Cornell Sprinkle Infiltromete", while for the determination of compaction was used a digital penetrometer PLG 1020 PenetroLOG[®]. Have been observed some areas where there was no runoff (native forests and urban areas) and areas of rice where had the lowest rates. As to the resistance to penetration, native forest had the highest values and the lowest were present in the use of pasture and rice cultivation. The points with higher water infiltration are under the use of native grassland, pasture and soybean, respectively, already the lowest infiltration rates were obtained at points on the use of rice. The variables of time to onset of surface runoff, average rate of runoff and average rate of instantaneous infiltration were subjected to analysis of variance, which did not reveal a significant effect of the use and management of soil, by the F test (5%).

Keywords: simulated rainfall, infiltration rates, runoff rates.

1 Introdução

O processo de infiltração de água no solo se dá através da entrada de água na superfície e a sua percolação da mesma no perfil do solo. Esse fenômeno está susceptível a diversos fatores que podem afetar seu desempenho, dentre eles destaca-se o tipo de solo, propriedades físicas e ainda o manejo inadequado.

Sabe-se que o solo é um recurso natural lentamente renovável, encontrado em diferentes posições na paisagem. Sua origem resulta da alteração de rochas e sedimentos pela ação das variações climáticas (intensidade das chuvas, variação de temperatura) e dos organismos vivos (fauna e flora), nas mais diversas situações da paisagem ao longo do tempo (Streck *et al.*, 2008). Sendo assim, o mesmo está suscetível a ações antrópicas que influenciam nas suas características, alterando suas propriedades físicas, químicas ou biológicas.

Um dos principais fatores causadores da degradação do solo é a compactação ocasionada principalmente pelo aumento da densidade, esse fenômeno ocorre frequentemente em áreas onde o pisoteio de animais é intensificado (Camargo & Alleoni, 1997), onde influencia nos processos de infiltração de água no solo, elevando as taxas de escoamento superficial.

O processo do escoamento superficial é influenciado por diversos fatores, dentre os quais

se destacam o uso e ocupação do solo, onde um solo sem cobertura vegetal ou com um alto grau de compactação apresenta uma maior taxa de escoamento. As ações antrópicas na ocupação e uso do solo, tanto em áreas rurais como urbanas, interferem diretamente na quantidade e qualidade do escoamento superficial, alterando vazões máximas e mínimas dos mananciais (Maus *et al.*, 2007).

Os fatores que influenciam a infiltração de água no solo interferem também no escoamento superficial. De modo geral, sob uma intensidade constante de precipitação, a infiltração e o escoamento superficial são processos antagônicos: à medida que um diminui (infiltração) o outro aumenta (escoamento), até atingirem certo equilíbrio dinâmico (estabilização) (Spohr *et al.*, 2007).

Com base no exposto acima, o presente estudo tem por objetivo analisar a infiltração e o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica sob diferentes usos e formas de ocupação do solo.

2 Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da Área em Estudo

A bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim está localizada na parte central do Estado do Rio Grande do Sul (RS), entre as latitudes de 29°36'55"S e 29°39'50"S e longitudes de 53°46'30" O e 53°49'29"O, abrangendo uma área total de 1.145,7 km² (Casagrande, 2004) (Figura 1).

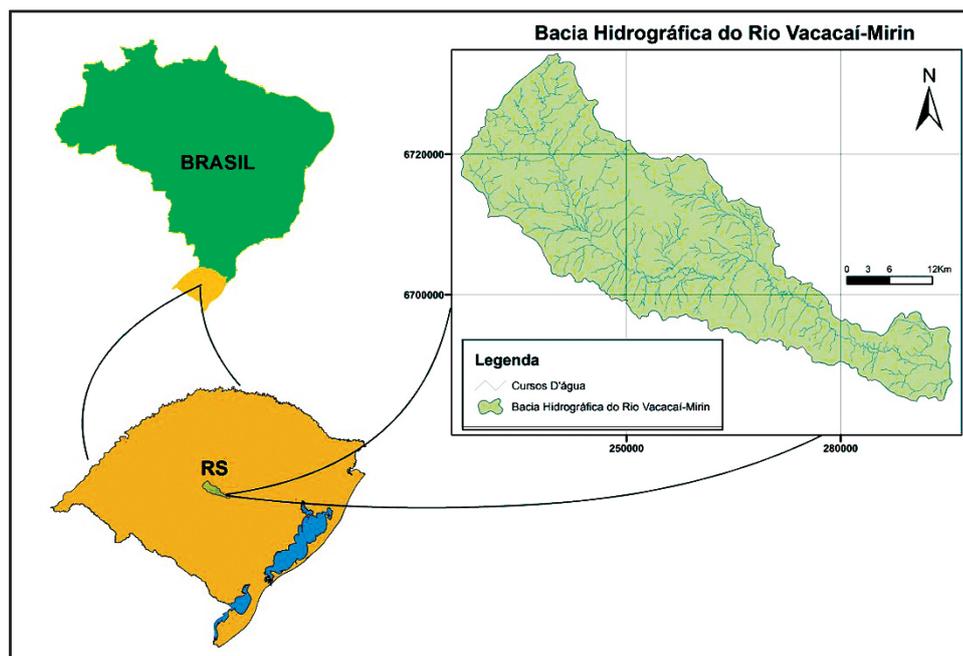


Figura 1 Localização da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.

Está inserida em três grandes compartimentos geomorfológicos, com características morfológicas e geológicas distintas: Região do Planalto, do Rebordo do Planalto e da Depressão Central ou Periférica. Na Região do Planalto é onde se localizam suas nascentes, à altitude entre 300 e 480 m e é formada pelo vulcanismo da Bacia do Paraná, ocorrido no Mesozóico, com a presença de basaltos e arenitos “intertraps”.

A área do Rebordo do Planalto localiza-se na transição entre o Planalto e a Central. A sua topografia caracteriza-se por ser formada por escarpas abruptas, drenagens fluindo no sentido da Depressão Central e padrão dendrítico, com presença marcante de vales em V. A área da Depressão Central ou Periférica é constituída por rochas sedimentares da bacia hidrográfica do rio Paraná, que datam do Paleozóico e Mesozóico (Triássico), encobertas, localmente, por sedimentos cenozóicos e recentes (planícies aluviais) (Casagrande, 2004).

O clima, na área da bacia hidrográfica, pela classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical, com precipitações bem distribuídas ao longo do ano e dos solos predominantes, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Santos *et al.*, 2006) são, na Região do Planalto os Argissolos Vermelho-amarelos ou alumínicos, sendo o termo Argissolo deriva da presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil, em alguns locais associados aos Neossolos Litólicos, eutróficos, estes solos lembra solos novos, ou seja, poucos desenvolvidos; na Região do Rebordo do Planalto os Neossolos Litólicos, ocorrendo também Chernossolos Argilúvicos (sendo Chernossolo solos com horizonte A, escuro e alta fertilidade química) e; na Depressão Central, os Planossolos (áreas planas e várzeas) e os Chernossolos Argilúvicos (Streck *et al.*, 2008). A vegetação natural, na área de Planalto e do Rebordo do Planalto, é constituída, predominantemente, por floresta do tipo subtropical e na Depressão Central ou Periférica de campos de pastagem natural. Em meio aos campos, é comum a presença de capões isolados de mata de pequeno e grande porte (Konrad, 2005).

A presença de grandes quantidades de áreas cultivadas por arroz, na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, RS, traz benefícios à comunidade local com a venda do produto, mas ao mesmo tempo ocupam grande parte das várzeas ao longo do rio principal e seus afluentes. A forma de cultivo de arroz na região exige uma demanda elevada de água. Os períodos de semeadura dessa cultura coincidem

com o período de estiagem, ocasionando uma vazão praticamente nula na parte mais baixa do rio. A causa dessa debilidade do rio está diretamente relacionada aos inúmeros bombeamentos para a lavoura de arroz, distribuídos ao longo de seu curso. Essa situação tende a agravar os problemas qualitativos do rio com o passar do tempo, propiciando a geração de conflitos de uso da água (Gastaldini & Oppa, 2011).

2.2 Pontos para a Medição da Infiltração

Para a realização dos testes de infiltração de água, o presente trabalho escolheu os pontos de medição visando uma distribuição espacial uniforme na bacia hidrográfica, abrangendo os diferentes tipos de solos existentes, bem como os seus usos predominantes na região em estudo. Dessa maneira foram amostrados 26 pontos, sendo que estes receberam a nomenclatura variando de P1 a P26 (Figura 2).

As Tabelas 1 e 2 apresentam o tipo de uso do solo e o tipo de solo em cada um dos pontos de amostragem, respectivamente.

2.3 Determinações da Taxa de Infiltração e Escoamento Superficial

Para a determinação da taxa de infiltração e escoamento superficial foi utilizado o método “Cornell Sprinkle Infiltrometer” descrito por Van Es & Schindelbeck (2003), posteriormente utilizado por Santi (2007) e Santi *et al.* (2012). Trata-se de um simulador portátil de precipitação com volume de 20,6 L, um número de 69 tubos gotejadores (Figura 3) na sua parte inferior, e de diâmetros de 0,063 cm e 19 cm de comprimento cada um. Esse simulador é fixado sobre um cilindro de 24 cm de diâmetro e conta com um sistema de regulação de entrada de ar o qual permite simular diferentes intensidades de precipitação.

Santi (2007) afirma que o “Cornell Sprinkle Infiltrometer” permite trabalhar com diferentes intensidades de precipitação a partir da alteração para mais ou para menos da altura da extremidade inferior do tubo de entrada de ar (parte em contato com a água), em relação ao fundo do recipiente que acondiciona a água. Essa estratégia força uma entrada maior ou menor de ar ampliando ou diminuindo, conseqüentemente, a intensidade do gotejamento.

Infiltração e Escoamento Superficial Sob Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica
 Pedro Daniel da Cunha Kemerich; Sérgio Roberto Martins; Masato Kobiyama; Carlos Eduardo Balestrin Flores¹;
 Willian Fernando de Borba; Gabriel D'Ávila Fernandes; Antônio Luis Santi & Mauricio Cherubin

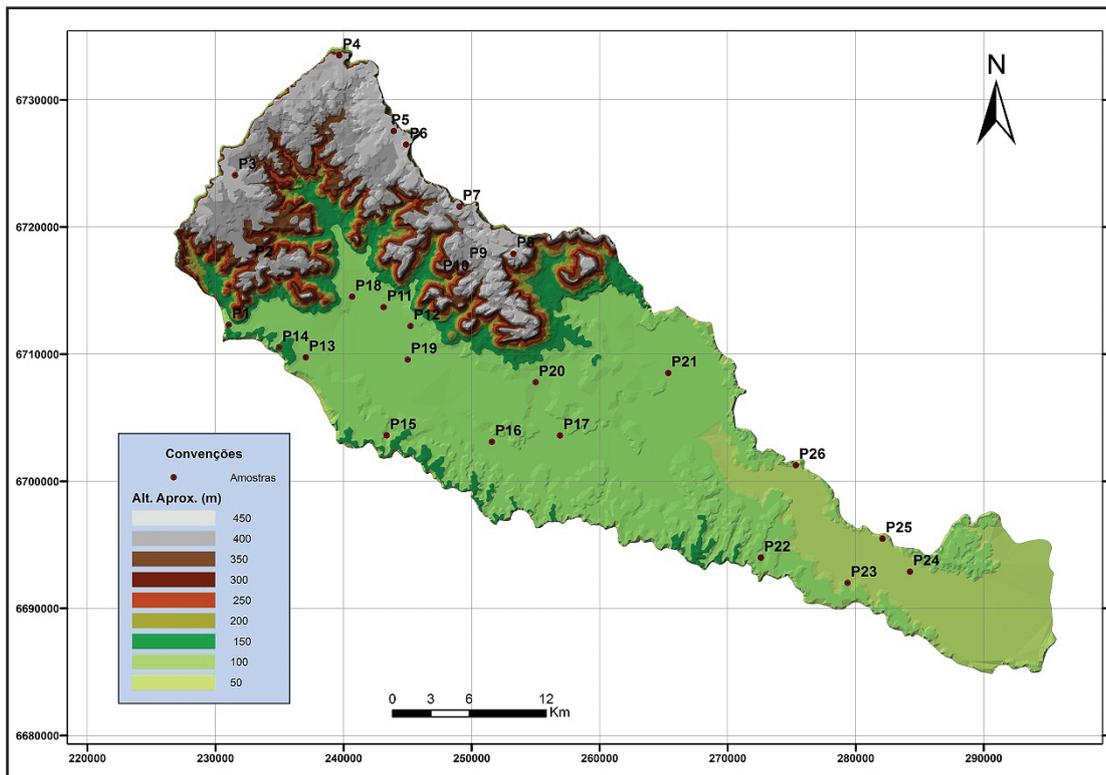


Figura 2 Mapa planialtimétrico com a localização dos 26 pontos amostrados na bacia hidrográfica Vacacai-Mirim.

Usos do Solo	Pontos de Amostragem
Mata Nativa	1,2,3,10,26
Campo Nativo	5,12,22,23
Pastagem	11,15,20
Soja	4,6,7,8,9
Arroz	16,17,18,19,21,24,25
Área Urbana	13,14

Tabela 1 Uso e ocupação do solo bacia hidrográfica Vacacai-Mirim-RS.



Figura 3 Método Cornell Sprinkle Infiltrometer em uma área de pastagem na bacia hidrográfica do Vacacai-Mirim.

Tipo de Solo	Pontos de Amostragem
Argissolo Bruno-Acinzentado álico ou aluminico	20,21
Argissolo Bruno-Acinzentado álico	8
Neossolos Litólicos eutróficos e distróficos	2,7,9,10
Argissolo Vermelho álico e distrófico	1,3,4,5,6,13,14,15,22,23
Planossolo Háptico Eutrófico	11,12,16,17,18,19,24,25,26

Tabela 2 Tipos de solo na bacia hidrográfica Vacacai-Mirim-RS.

Desta forma, a determinação da intensidade da precipitação que está sendo simulada com “Cornell Sprinkle Infiltrometer” foi realizada por meio da equação (Santi, 2007):

$$IC = (H1 - H2) / Tf$$

onde: IC = intensidade da precipitação; H1 = leitura inicial do volume de água na régua do infiltrômetro; H2 = leitura final do volume de água na régua do infiltrômetro; e Tf = intervalo de tempo entre uma leitura e outra, de três em três minutos.

O escoamento superficial de água no solo foi determinado utilizando a seguinte equação:

$$Es = Vt / (457,30 * t),$$

onde: Es = escoamento superficial; t é o intervalo de tempo entre as coletas da água escoada (três minutos nesse trabalho); e V = volume de água coletada, sendo a área do anel de 457,30 cm³.

A infiltração de água no solo foi determinada como:

$$I_a = I_c - E_s$$

onde: I_a = infiltração de água no solo; I_c = intensidade da precipitação e E_s = escoamento superficial de água no solo.

2.4 Resistência à Penetração

A resistência a penetração do solo, principal parâmetro utilizado para caracterizar o estado físico de compactação do solo, foi determinada visando estabelecer possíveis correlações com as diferentes taxas de infiltração observadas. Para tanto, foi utilizado um penetrômetro com registro eletrônico dos dados, PLG 1020 PenetroLOG® (Falker Automação, Porto Alegre, RS), (Figura 4) adotando mesma metodologia utilizada por Camargo & Alleoni (1997) e descrita por Molin *et al.* (2012). A camada amostrada foi de 0 – 0,20 m.



Figura 4 Utilização do PenetroLOG® em uma área de mata nativa na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim, 2011.

2.5 Análise Estatística

As equações de infiltração instantânea e acumulada de água no solo foram ajustadas por meio de regressões não lineares e lineares, respectivamente, com base nos valores médios observados em cada tratamento estudado, utilizando o *software Statistical Analysis System – SAS 8.0* (SAS Inc, Cary, EUA). O tempo de escoamento superficial foi determinado pelo ponto de intersecção entre as curvas obtidas pelas regressões de infiltração instantânea e escoamento superficial.

Os valores médios do tempo para início do escoamento superficial, taxa de escoamento

superficial; taxa de infiltração instantânea e de resistência a penetração (0-20 cm) foram submetidos a análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3 Resultados e Discussão

As variações no tempo de escoamento, na média de infiltração e na taxa de infiltração de água no solo observadas na bacia hidrográfica estudada são apresentadas na Tabela 3. O ponto P10 não apresentou escoamento pelo solo ser um Neossolo com uma grande quantidade de rocha ainda em processo de decomposição, já o P13 o fato pode ser em decorrência de ser uma área de transição entre uma área rural e urbana e o mesmo apresentar baixas taxas de compactação.

Pontos	Uso do solo	Tempo Escoamento superficial (min)	Média escoamento Superficial (mm/min)	Média taxa de infiltração (mm/min)
P1	Mata Nativa	3	0,175	0,302
P2	Mata Nativa	10	0,332	0,191
P3	Mata Nativa	2	0,442	0,050
P4	Soja	3	0,306	0,193
P5	Campo Nativo	1	0,032	0,434
P6	Soja	3	0,420	0,181
P7	Soja	2	0,436	0,096
P8	Soja	3	0,152	0,382
P9	Soja	10	0,397	0,169
P10	Mata Nativa	*	*	*
P11	Pastagem	6	0,257	0,314
P12	Campo Nativo	6	0,301	0,230
P13	Área Urbana	*	*	*
P14	Área Urbana	3	0,440	0,195
P15	Pastagem	1	0,458	0,172
P16	Arroz	1	0,143	0,018
P17	Arroz	5	0,345	0,048
P18	Arroz	3	0,146	0,022
P19	Arroz	1	0,451	0,030
P20	Pastagem	3	0,454	0,184
P21	Arroz	5	0,453	0,033
P22	Campo Nativo	6	0,533	0,088
P23	Campo Nativo	3	0,297	0,248
P24	Arroz	2	0,585	0,052
P25	Arroz	11	0,250	0,244
P26	Mata Nativa	3	0,568	0,061

Tabela 3 Intensidade de precipitação simulada, escoamento superficial e infiltração de água no solo determinado pelo método “Cornell Sprinkle Infiltrometer” em locais utilizados por arroz na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim.

3.1 Áreas de Cultivo de Arroz

Na área de cultivo de arroz, nos pontos P16, 17, 18, 21 e 24, o início do escoamento superficial aconteceu antes dos seis primeiros minutos de precipitação.

Após elevadas taxas de infiltração no início do ensaio, decresceram e tornaram-se constante com o passar do tempo, isto ocorreu, pois, os pontos estavam localizados em Planossolo Háplico Eutrófico e Argissolo Bruno-Acinzentado álico ou alumínico. Para Streck *et al.* (2008) no Rio Grande do Sul Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados encontrados em áreas de várzea com relevo plano e suavemente ondulado, que apresentam alta saturação por base. Já Argissolo Bruno-Acinzentado álico ou alumínico, originado de siltito e arenito que ocorrem em duas situações de paisagem, relevos suavemente ondulado e ocupando coxilhas em cotas intermediárias entre Argissolo Vermelho, na unidade de São Pedro, em cotas mais altas.

Apenas no último ponto observado (P25) na área de cultivo de arroz, o escoamento superficial ocorreu a partir do décimo primeiro minuto, possuindo uma média de 0,250 mm/min, enquanto que a taxa de infiltração de água no solo possui

uma média de 0,244 mm/min tornando-se constante no décimo oitavo minuto (Tabela 3). A Figura 5 demonstra o escoamento e a infiltração nos pontos de cultivo de arroz.

3.2 Áreas de Cultivo da Soja

Na área de cultivo da soja com plantio direto, no primeiro ponto analisado (P4), tanto o escoamento superficial quanto a infiltração no início dos testes eram de ordem crescente, com escoamento superficial médio de 0,306 mm/min e 0,193 mm/min de infiltração de água no solo. A partir dos 20 minutos a taxa de infiltração no solo passou a ser constante. Segundo Vezzani & Mielniczuk (2009) áreas de plantio direto tendem a apresentar melhores taxas de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, retardam o início do escoamento superficial. Isso se deve ao melhor grau de estruturação do solo, devido às práticas de manejo preconizadas nesse sistema, como aporte de resíduos orgânicos constantes, rotação de culturas e não revolvimento do solo, as quais condicionam melhorias ou ao menos manutenção da qualidade física do solo, a partir do aumento dos teores de matéria orgânica, agregação,

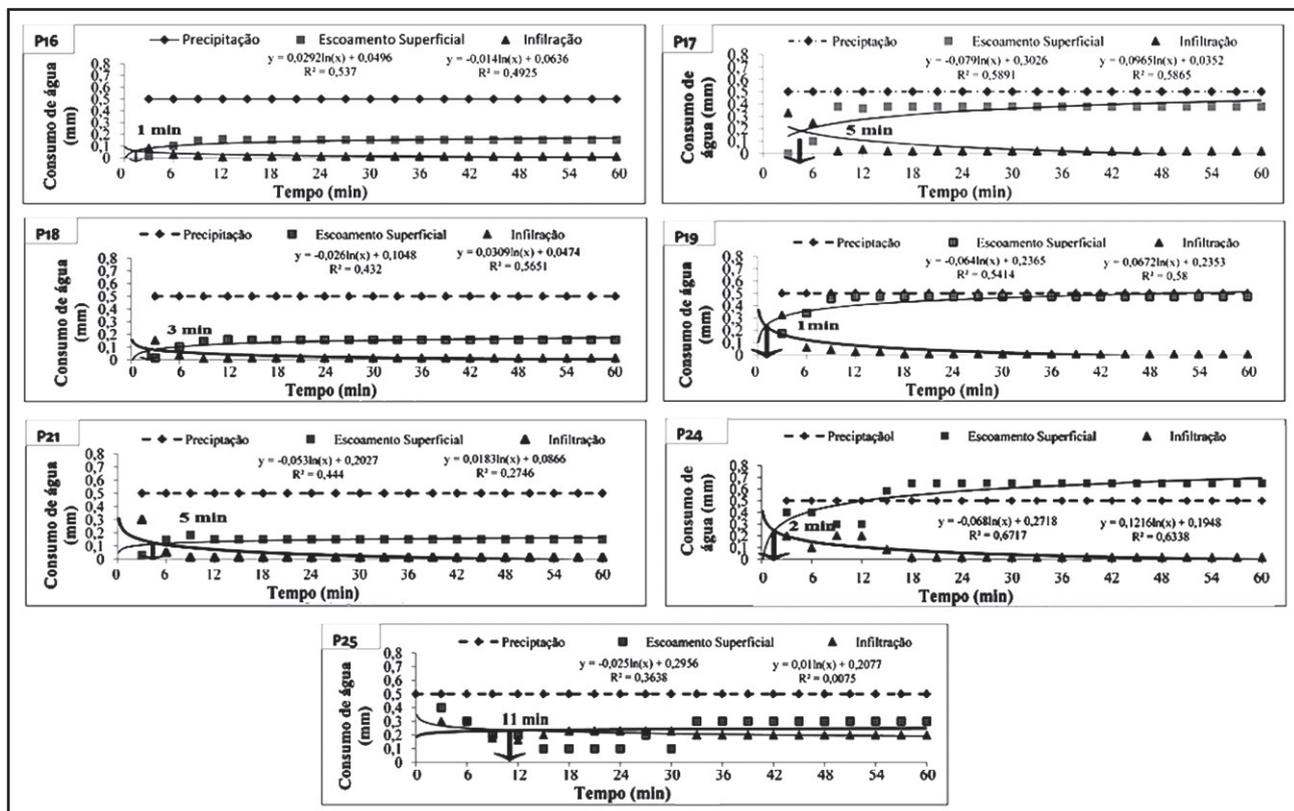


Figura 5 Intensidade de precipitação simulada, escoamento superficial e infiltração de água no solo em áreas de cultivo de arroz.

continuidade de poros, equilíbrio entre macro e microporosidade, e melhorias na condutividade hidráulica do solo.

Já nos pontos P6, P7 e P9 o escoamento superficial ocorreu antes dos 10 minutos iniciais sendo o ponto P6 em Argissolo Vermelho álico e distrófico e os pontos P7 e P9 em um Neossolo Litólico eutrófico e distrófico. Nos três pontos a infiltração obteve o mesmo comportamento com alta taxa no início do processo, mantendo-se constante com o decorrer do tempo. No ponto P8, o escoamento superficial ocorreu a partir dos 3 minutos iniciais, com média de 0,152 mm/min, e a infiltração apresentou um alto índice no início do ensaio, mas no decorrer do tempo a sua taxa manteve-se constante, com uma média de 0,382 mm/min. A Tabela 3 apresenta o escoamento e a infiltração média nos pontos de estudados. A Figura 6 ilustra as taxas de escoamento e infiltração de água no solo nas áreas de cultivo de soja.

Santi (2007) em uma zona de alta produtividade a simulação de uma precipitação de 5 mm/min provocou a ocorrência de escoamento após 27 min e 16 min de teste, enquanto que zona de baixa produtividade esse tempo foi de 11 e 9 min, respectivamente, para uma área de lavoura com plantio direto estabelecido em Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque, respectivamente, onde o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico.

Já Borges *et al.* (2009), que promoveram simulações de precipitação, em local desprovido

de cobertura vegetal, obtiveram taxa de infiltração estável variando de 0,86 a 1,3 mm/min, proporcionando um valor médio de 1.08 mm/min. Panachuki *et al.* (2011) citam valores de taxa de infiltração estável média de 1,02 mm/min em solo desprovido de cobertura vegetal e 1,27 mm/min em solo com cobertura morta.

3.3 Áreas de Pastagem

Para áreas de pastagem foram realizados três testes de infiltração, onde no ponto P11 o escoamento superficial ocorreu no sexto minuto com média de 0,257 mm/min enquanto que a taxa de infiltração teve um leve aumento no início, mas tornou-se constante a partir do trigésimo minuto, com uma média de 0,314 mm/min, infiltrando mais do que escoou, confirmando um solo com boa drenagem e não compactado.

No P15 o escoamento superficial ocorreu no primeiro minuto, com 0,458 mm/min e variações na taxa de infiltração possuindo uma média de 0,172 mm/min tornando-se constante apenas no trigésimo minuto. No ponto P20 o escoamento superficial ocorreu no terceiro minuto com média de 0,454 mm/min, tendo uma alta taxa de infiltração no início do teste, com média total de 0,184 mm/min tornando-se constante a partir do terceiro minuto conforme indica Figura 3. A Tabela 3 ilustra o escoamento e infiltração média nos pontos de estudo. Nos dois pontos citados acima P15 e P20 as taxas de infiltração foram baixas,

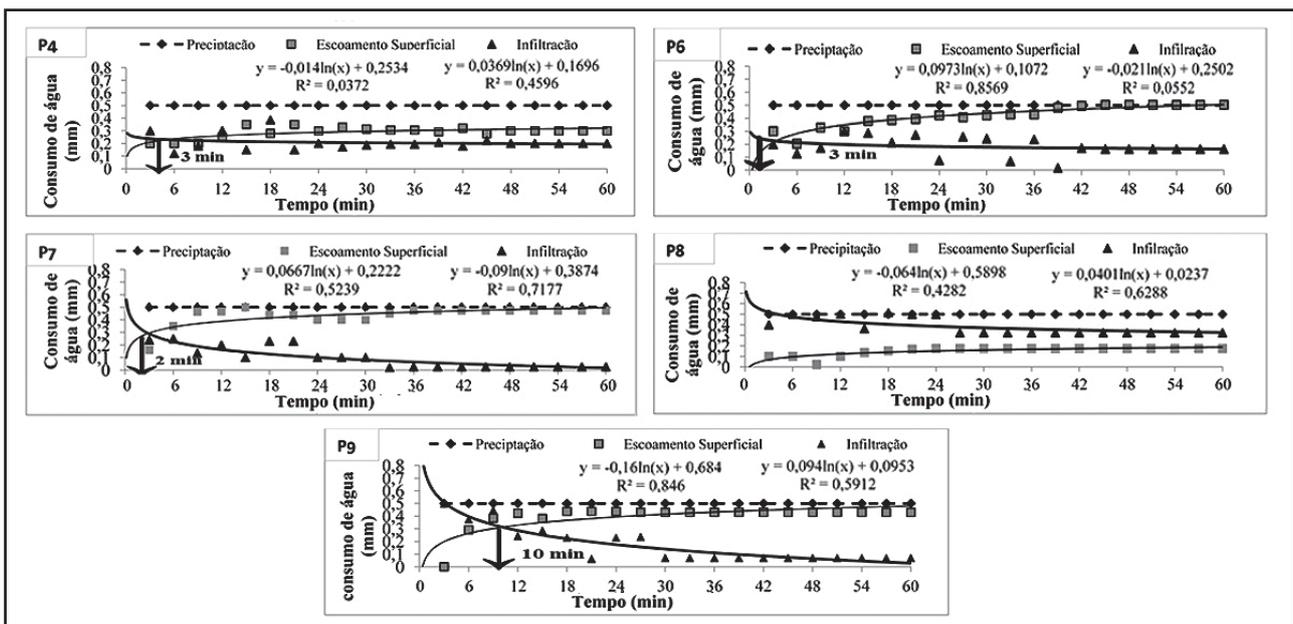


Figura 6 Intensidade de precipitação simulada, escoamento superficial e infiltração de água no solo em áreas de cultivo de soja.

acarretando um alto escoamento superficial, devido a compactação do solo, pela presença de animais. A Figura 7 mostra variação das taxas de escoamento e infiltração de água no solo nas áreas de pastagem.

Rodrigues Júnior *et al.* (2007) relata que no município de Taubaté, no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo, apresenta menor infiltração de água em solos onde havia predomínio de pastagem com 0,316 mm/min. Trein *et al.* (1991) avaliaram a taxa de infiltração e a infiltração acumulada de água antes e depois da realização de um pastejo de curta duração com alta lotação animal (40 horas e 200 animais ha⁻¹), e encontraram redução de 68% na taxa de infiltração e de 60,76% para a infiltração acumulada, após o pastoreio.

3.4 Área Urbana

Os dois pontos estudados na área urbana (P13 e P14) apresentaram comportamento distintos. O ponto P13, localizado em Argissolo Vermelho álico e distrófico, não ocorreu escoamento superficial,

onde consequentemente, a água infiltrou totalmente no solo. O fato de não ocorrer escoamento superficial no ponto P13, pode estar relacionado pelo solo ser classificado como um Argissolo Vermelho álico e distrófico, onde apresentava características de alta infiltração de água, com uma grande quantidade de arenito. Argissolos são solos profundos a muito profundos variando de bem a mal drenados, originando-se de diversos tipos de materiais tais como basaltos, granitos, argilitos e siltitos (Streck *et al.*, 2008). Os valores de escoamento e infiltração de água podem ser observados na Figura 8. Este solo está sob uso de área urbana, porém encontra-se em uma área natural.

Já no segundo ponto (P14) o escoamento superficial acontece lentamente no início do teste, aumentando até o terceiro minuto com uma média de 0,440 mm/min a partir deste tempo o escoamento tornou-se constante, enquanto que a infiltração tornou-se constante no nono minuto com média de 0,195 mm/min de água infiltrada no solo.

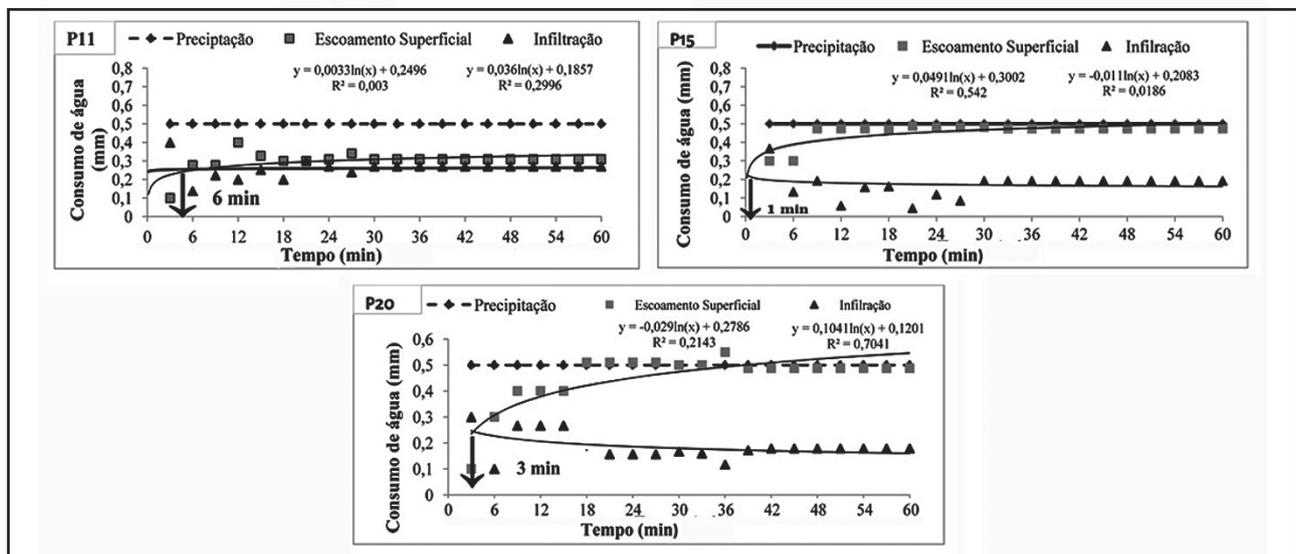


Figura 7 Intensidade de precipitação simulada, escoamento superficial e infiltração de água no solo em áreas de pastagem.

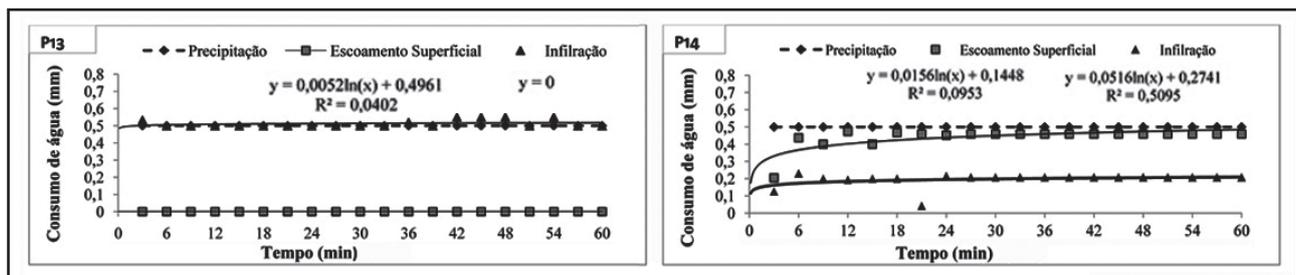


Figura 8 Intensidade de precipitação simulada, escoamento superficial e infiltração de água no solo em área urbana.

Tucci (1997) afirma que o impacto da urbanização é mais significativo nas precipitações com maiores frequências, onde o efeito infiltração de água no solo é mais importante, sendo que para precipitações de baixa frequência, a relação entre as condições naturais e urbanizadas são menores.

Pizella & Sousa (2007) dizem que as águas receptoras do meio urbano sofrem com os impactos advindos da ausência de considerações ambientais na ocupação do espaço. Dentre seus agentes impactantes mais significativos, encontra-se o escoamento superficial, produzido em grandes quantidades nos ambientes urbanos, em razão do alto grau de impermeabilização de suas superfícies, por meio das ruas, avenidas, telhados e construções.

3.5 Áreas de Mata Nativa

Foram realizados cinco testes em pontos predominantemente ocupados com mata nativa. No P1 o escoamento superficial aconteceu no terceiro minuto possuindo uma média total de 0,175 mm/min com a taxa de infiltração possuindo uma média de 0,302 mm/min, sofrendo altas e baixas até o trigésimo terceiro minuto tornando-se constante. No ponto P2 o escoamento superficial ocorreu a partir do décimo minuto, com uma média total de 0,332 mm/min enquanto que a taxa de infiltração teve uma média de 0,191 mm/min, no início da análise a infiltração era alta diminuindo gradativamente com o decorrer do tempo e apenas no trigésimo

terceiro minuto passou a ser constante. No ponto P3 o escoamento ocorreu em dois minutos após o início com uma média de 0,442 mm/min, possuindo uma alta taxa de infiltração no início com média de 0,050 mm/min e a partir do décimo oitavo minuto a infiltração no solo passou a ser constante (Figura 9).

No ponto P10 não ocorreu escoamento superficial, onde toda a água precipitada infiltrou no solo. No ponto P26 o escoamento superficial teve início no terceiro minuto tornando-se constante a partir do nono minuto obtendo uma média total de 0,568 mm/min um leve aumento da infiltração no início do teste foi observado tornando-se constante no décimo quinto minuto com uma média de 0,061 mm/min.

Fazendo comparações com a capacidade de infiltração da mata nativa com áreas de plantio direto e pastagem nota-se que a mata nativa apresenta capacidade superior em relação a infiltração de água aos demais uso do solo, pois o ponto P10 o escoamento superficial foi de 5 mm/min. Sbardelotto *et al.* (2011) relatam que através dos resultados observados em Frederico Westphalen-RS na área de mata nativa, não houve escoamento superficial, sendo que a infiltração média ficou acima dos 5 mm/min.

Para Muschler (1999) a presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica dos solos, conservando a umidade, aumentando a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzindo o risco de erosão e estimulando a atividade biológica.

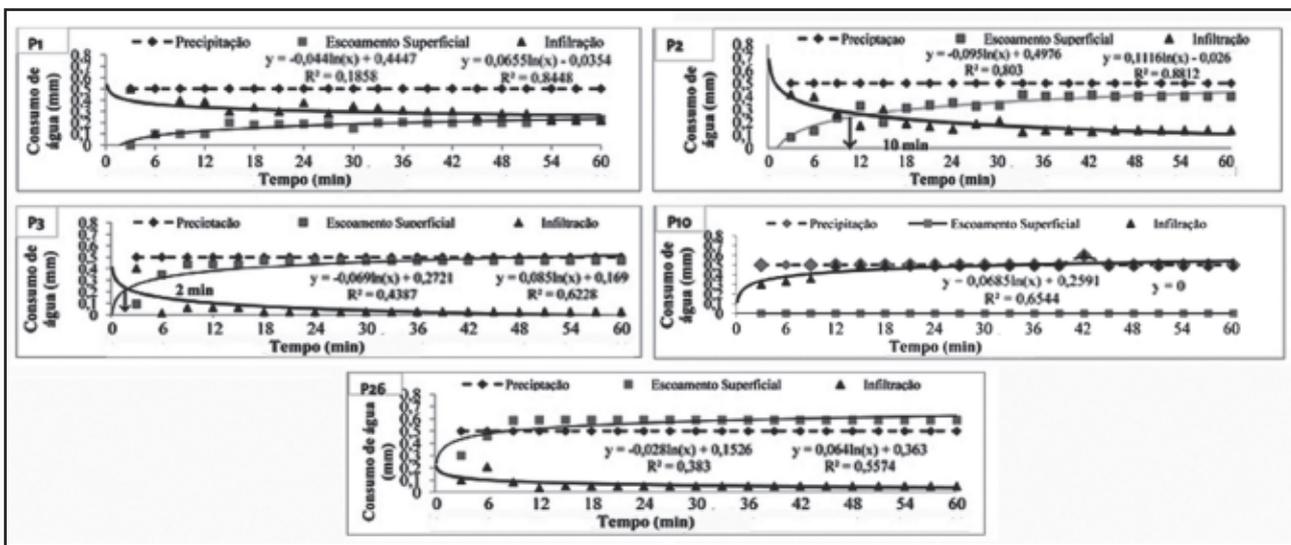


Figura 9 Intensidade de precipitação simulada, escoamento superficial e infiltração de água no solo em área de mata nativa.

3.6 Áreas de Campo Nativo

Na área de campo nativo foram realizados quatro testes. No ponto P5, o escoamento superficial ocorreu no primeiro minuto com uma média total de 0,032 mm/min, sendo que a taxa de infiltração permaneceu constante a partir do décimo segundo minuto com média total de 0,434 mm/min. No ponto P12 o escoamento superficial ocorreu no sexto minuto, possuindo uma média de 0,301 mm/min enquanto que a taxa de infiltração tornou-se constante a partir do vigésimo quarto minuto com uma média de 0,230 mm/min, sofrendo leves oscilações (Figura 10).

Segundo USDA (1999) as taxas de infiltração no solo descoberto e no campo nativo (7,3 e 6,4 mm/min, respectivamente) são consideradas lentas (de 1,5 a 15 mm/min), enquanto nos demais tratamentos, incluindo o pousio, são considerados moderados (de 15 a 51 mm/min). Baixas taxas de infiltração de água em campo nativo podem ocorrer devido à densidade do solo nessas áreas, principalmente na camada de 0,0–0,05 m de profundidade naturalmente, em razão do pisoteio animal, com destaque para os casos em que ocorre superpastejo e queimada.

No ponto P22 apenas no sexto minuto ocorreu escoamento superficial com uma média total de 0,533 mm/min, sendo a taxa de infiltração constante apenas no décimo segundo minuto com média de 0,088 mm/min. No quarto ponto P23 o escoamento superficial ocorreu no terceiro minuto com uma média total de mm/min e a taxa de infiltração encontra-se constante no vigésimo quarto minuto com 0,248 mm/min conforme indica a Tabela 3 com as taxas médias de infiltração e escoamento superficial nos pontos de campo nativo.

Sbardelotto *et al.* (2011) relatam que através dos resultados observados em Frederico Westphalen na área de campo nativo a taxa média de infiltração foi de 0,240 mm/min, e o início do escoamento superficial ocorreu aos 1min 21s.

Para Bertol *et al.* (2011) áreas de campo nativo no sul do Brasil, especialmente nos campos de elevada altitude, são tradicionalmente utilizadas para pastejo animal, especialmente com bovinos e ovinos. Lanzanova *et al.* (2010) afirmam que em áreas de campo nativo a água tem mais dificuldade de infiltrar, pelo fato de que boa parte de seus macroporos está preenchida por raízes, porém, ao mesmo tempo, essa água tem maior dificuldade em escoar na superfície, em razão da elevada e permanente cobertura do solo.

3.7 Resistência a Penetração

Em relação a resistência da penetração, a Figura 11 ilustra a variação espacial observada na camada de 0 a 0,20 m. Os maiores valores observados nas cinco repetições realizadas por ponto foram localizados no ponto P3 sobre o uso de mata nativa, onde a resistência média observada foi de 3.556 KPa em um Argissolo Vermelho álico e distrófico, observada no mapa acima na cor verde. Enquanto que os pontos P5, P6, P8, P9, P10, P13 e P22 após as cinco repetições a cada ponto, apresentou uma resistência média de 1.726 KPa com maiores concentrações localizadas no ponto 8 em solo ocupado pelo cultivo da soja em um Argissolo Bruno-Acinzentado álico. Os valores de menor resistência foram localizados nos pontos P11, P12, P15, P16,

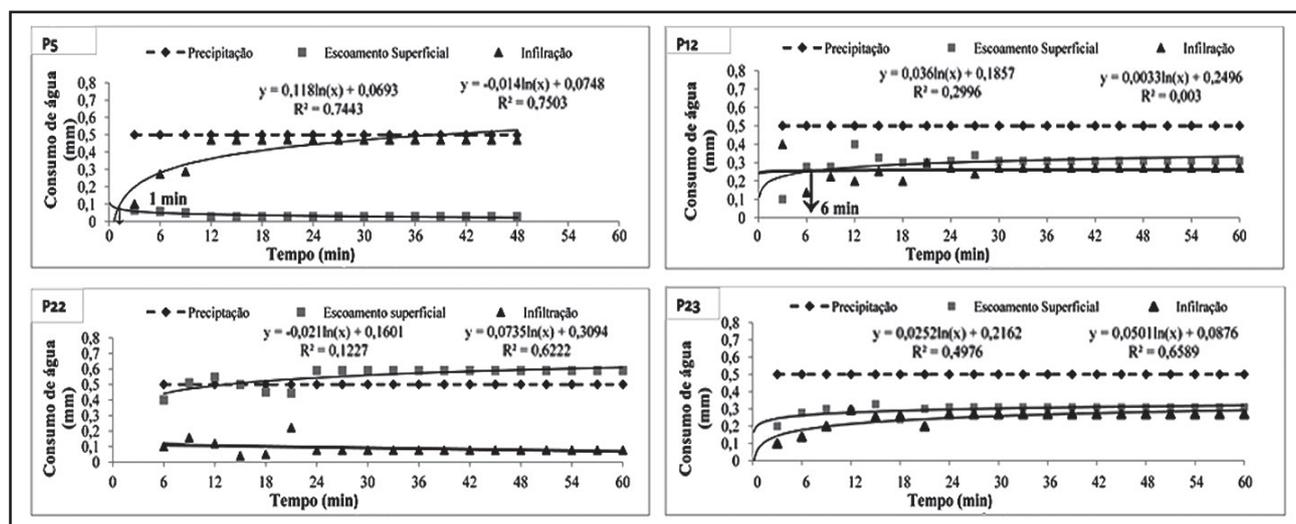


Figura 10 Intensidade de precipitação simulada, escoamento superficial e infiltração de água no solo em área de em campo nativo.

P18, P19 e P20 apresentaram uma resistência média de 126 KPa com o ponto P16 apresentando o menor valor (121 KPa) em área de cultivo da soja em um Planossolo Háplico Eutrófico.

Quanto aos valores de resistência à penetração do solo, diagnosticada na profundidade de 0,20 m, verificou-se que os locais de pastagem apresentaram os menores valores. Isso pode estar associado, ao reduzido efeito do pisoteio animal na profundidade avaliada, afetando mais significativamente as camadas mais superficiais do solo. Quanto aos demais locais estudados estes não diferiram entre si, demonstrando que os usos e manejos do solo para as condições do estudo não afetaram as condições de resistência à penetração. Destacam-se os usos agrícolas com cultivos de soja e arroz que não diferiram da condição de mata e campo nativo, indicando que a introdução da agricultura nestes locais não aumentou a restrição física ao desenvolvimento e aprofundamento do sistema radicular das plantas cultivadas.

3.8 Taxas Médias de Infiltração e Escoamento Superficial

A Figura 12 ilustra a variação das médias do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim. Os maiores valores de escoamento superficial foram apresentados nas áreas de cultivo de arroz, indicados na região sudeste da bacia hidrográfica, já os menores valores estão representados na região nordeste da bacia. Com relação às taxas de infiltração de água no solo, a Figura 13 ilustra que os maiores valores de infiltração de água no solo estão apresentados nas áreas de arroz e campo nativo, apresentados na região central e leste do cartograma. As menores taxas foram observadas na região leste e sul do cartograma, em áreas de mata nativa e arroz.

Para as variáveis de tempo para início do escoamento superficial, taxa média de escoamento superficial e taxa média de infiltração instantânea a análise da variância não revelou efeito significativo dos usos do solo, pelo teste F (5%) (Tabela 4). Esses resultados podem estar atrelados dentre outros

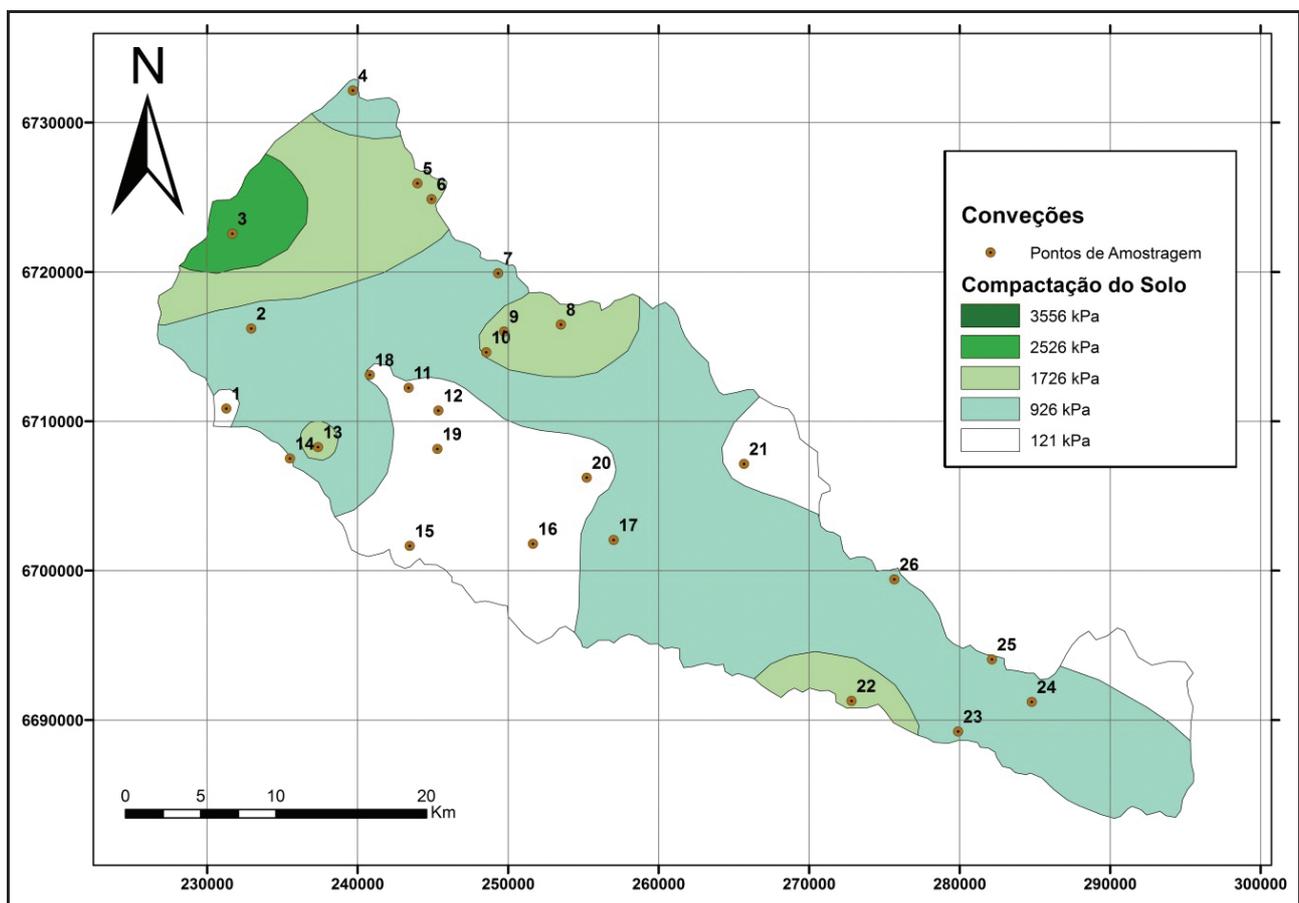


Figura 11 Variação espacial da resistência a penetração do solo na camada de 0 a 0,20 m na Bacia Hidrográfica do Vacacaí-Mirim.

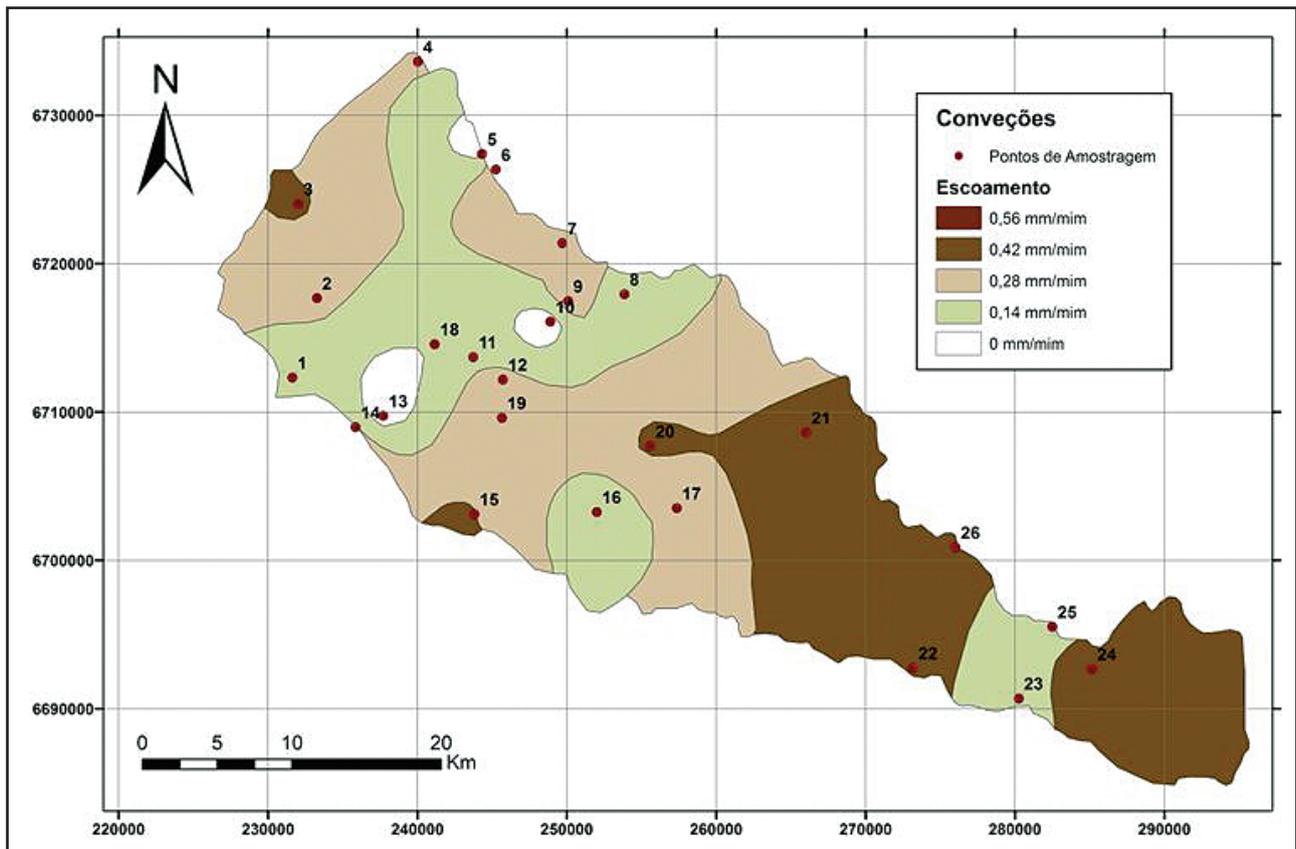


Figura 12 Variação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim.

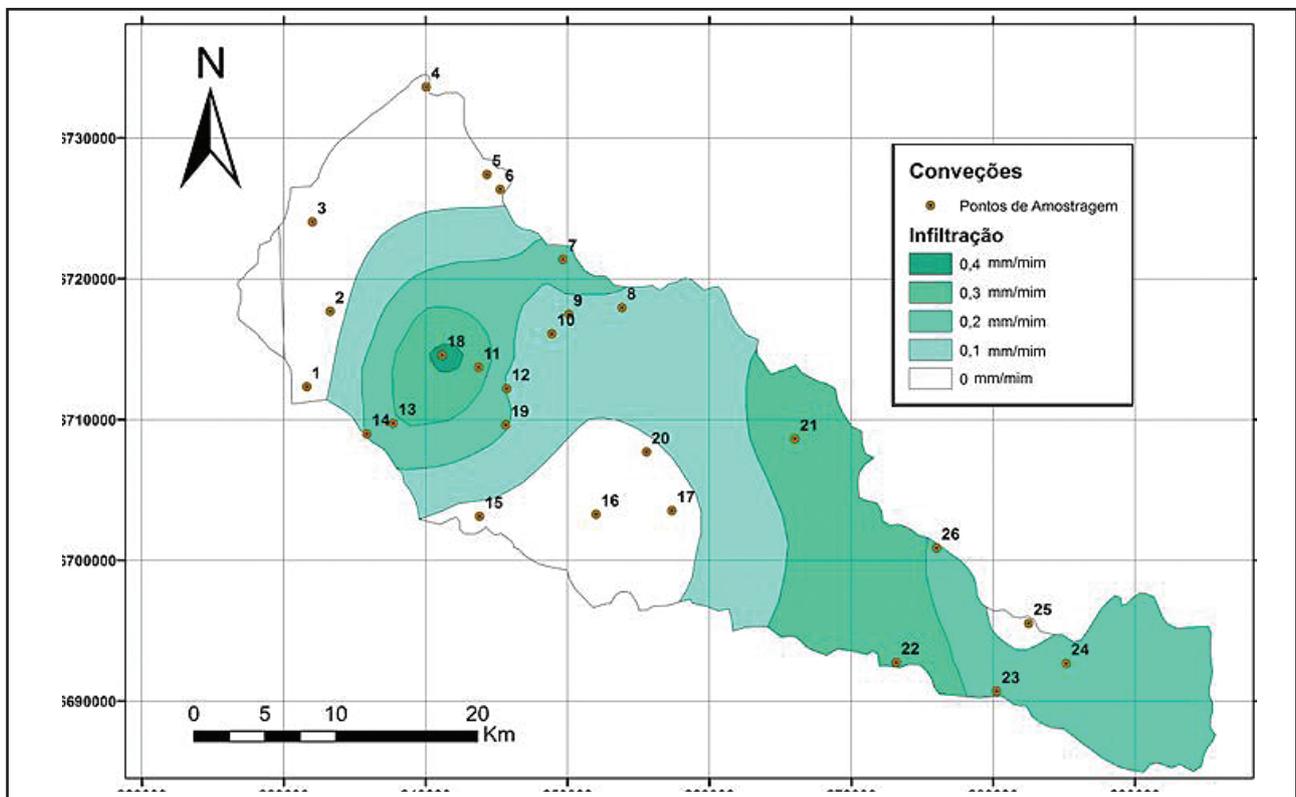


Figura 13 Variação da infiltração de água no solo na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim.

Tabela 4 Análise estatística do tempo de início do escoamento superficial, taxa média de escoamento superficial e de infiltração instantânea e resistência a penetração (0,20 m) em diferentes usos e manejos do solo na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim.

Uso e Manejo do Solo	Tempo de Início do Escoamento Superficial (minutos)	Taxa Média de Escoamento Superficial (mm/min)	Taxa Média de Infiltração Instantânea (mm/min)	Resistência a Penetração (KPa)
Mata Nativa	4,50 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,15 ^{ns}	2.355 a*
Campo Nativo	4,00	0,29	0,25	2.308 a
Soja	4,20	0,34	0,20	2.504 a
Arroz	2,86	0,34	0,06	1.387 ab
Pastagem	3,33	0,39	0,22	795 b
Área Urbana	3,00	0,44	0,19	2.133 ab
Média Geral	3,67	0,35	0,16	1.937
CV(%)	73,66	45,86	64,20	63,89

fatores, as pequenas diferenças de infiltração de água existente entre os locais estudados associadas aos altos valores de coeficiente de variação (%) observado nos dados. Esta alta dispersão dos dados relacionada à dinâmica de atributos físico-hídricos, como a infiltração de água no solo, é atribuída às complexas inter-relações envolvendo uma série de fatores intrínsecos e extrínsecos ao solo que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço (Warrick & Nielsen, 1980; Cichota *et al.*, 2003; Tavares-Filho *et al.*, 2006; Vieira *et al.*, 2010; Santi *et al.*, 2012).

4 Conclusão

Existe variabilidade espacial na taxa de infiltração de água na bacia do rio Vacacaí-Mirim, e os pontos que apresentaram maior infiltração de água, encontram-se sob o uso de campo nativo, pastagem e soja, respectivamente. As menores taxas de infiltração foram obtidas nos pontos sobre o uso de arroz.

O escoamento superficial mostrou comportamento distinto em função do uso, ocupação e tipo de solo sugerindo que a distribuição espacial dessa variável deva ser levado em conta no entendimento dos processos hidrológicos e projetos ambientais.

5 Referências

Bertol, I.; Gobbi, E.; Barbo, S.A.F.T.; Ferreiro, J.P.; Gebler, P.L.; Ramos, J.C. & Werner, R.S. 2011. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 1421-1430.

Borges, T.A.; Oliveira, F.A.; Silva, E.M. & Goedert, W.J. 2009. Avaliação de parâmetros físico-hídricos de Latossolo

Vermelho sob pastejo e sob cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13: 18-25.

Camargo, O.A. & Alleoni, L.R.F. 1997. *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: ESALQ. 137 p.

Casagrande, L. 2004. *Avaliação do Parâmetro de Propagação de Sedimentos do Modelo de Williams (1975) Na Bacia do Rio Vacacaí-Mirim Com o Auxílio de Técnicas de Geoprocessamento*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 226 p.

Cichota, R.; Lier, Q.J.V. & Rojas, C.A.L. 2003. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 789-798.

Gastaldini, M.C.C. & Oppa, L.F. 2011 Análise de Alternativas de Enquadramento do Rio Vacacaí Mirim Utilizando Modelo Matemático de Qualidade da Água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 16: 15-27.

Konrad, C.G. 2005. *Zoneamento Ambiental da Microbacia Hidrográfica do Reservatório do Dnos De Santa Maria – RS*. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, 98 p.

Lanzanova, M.E.; Eltz, F.L.F.; Nicoloso, R.S.; Amado, T.J.C.; Reinert, D.J. & Rocha, M.R. 2010. Atributos Físicos de um Argissolo em Sistemas de culturas de Longa Duração Sob Semeadura Direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34: 1333-1342.

Maus, V.W.; Righes, A.A. & Buriol, G.A. 2007. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. *In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE*, 1 Cuiabá, 2007. *Resumos expandidos*, Cuiabá, p. 17.

Molin, J.P.; Dias, C.T.S. & Carbonera, L. 2012. Estudos com petronometria: Novos equipamentos e amostragem correta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16:584-59.

Muschler, R.G. 1999. *Árboles en Cafetales. Módulos de Enseñanse Agroflorestal*. Turrialba: CATIE/GTS.

Panachuki, E.; Bertol, I.; Sobrinho, T.A.; Oliveira, P.T.S. & Rodrigues, D.B.B. 2011. Perdas De Solo E De Água

Infiltração e Escoamento Superficial Sob Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica
Pedro Daniel da Cunha Kemerich; Sérgio Roberto Martins; Masato Kobiyama; Carlos Eduardo Balestrin Flores¹;
Willian Fernando de Borba; Gabriel D'Ávila Fernandes; Antônio Luis Santi & Maurício Cherubin

- E Infiltração De Água Em Latossolo Vermelho Sob Sistemas De Manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 1777-1785.
- Pizella, D.G. & Souza, M.P. 2007. As contribuições da Avaliação Ambiental Estratégica para a Estratégia Nacional de Biotecnologia. In: CONGRESSOS BRASILEIROS DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, Belo Horizonte. *Resumo expandido*, Belo Horizonte, p. 238-238.
- Rodrigues Júnior, S.; Targa, M.S.; Batista, G.T. & Dias, N.W. 2007. Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, Taubaté, SP. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1, Taubaté, 2007. *Resumos expandidos*, Taubaté, p.67-73.
- Santi, A.L. 2007. *Relações Entre Indicadores de Qualidade do Solo e Produtividade das Culturas em Áreas Com Agricultura de Precisão*. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 175 p.
- Santi, A.L.; Amado, T.J.C.; Silva, V.R.; Basso, C.J.; Flora, L.P.D.; Cherubin, M.R. & Eitwein, M. 2012. Infiltração de Água no Solo, Determinada por Diferentes Métodos, como Indicador do Potencial Produtivo em Dois Latossolos Manejados com Agricultura de Precisão. *Revista Interciência*, 37:204-208.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumberras, J.F. & Cunha, T.J.F. (eds.). 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p.
- Sbardelotto, D.; Spohr, R.B.; Zwirtes, A.L.; Baronio, C.A.; Menegol, D.R. & Rohr, M.R. 2011. Caracterização Físico-Hídrica de Solos Submetidos a Diferentes Sistemas De Manejo Através do Infiltrômetro de Cornell na Região de Frederico Westphalen. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 25, Santa Maria, 2011. *Resumo expandido*, Santa Maria, UFSM.
- Spohr, R.B.; Carlesso, R.; Eltz, F.L.F.; Broetto, T.; Flores, C.H. & Knies, A.E. 2007. Escoamento superficial e infiltração de água no solo sob chuva simulada no Rio Grande do Sul. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Gramado, 2007. *Resumos expandidos*, Gramado, SBCS, p.1-6.
- Streck, E.V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C.; Schneider, P.; Giasson, E. & Pinto, L.F.S. 2008. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. 222 p.
- Tavares Filho, J.; Fonseca, I.C.B.; Ribon, A.A. & Barbosa, G.M.C. 2006. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Revista Ciência Rural*, 36: 996-999.
- Trein, C.R.; Cogo, N.P. & Levien, R. 1991. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15: 105-111.
- Tucci, C.E.M. *Água no meio urbano*: Livro da água doce. 1997. Porto Alegre: IPH/UFRGS. cap. 14. 40 p.
- USDA-ARS. *Soil quality test kit guide*. 1999. Washington: *Soil Quality Institute*. 82 p Van, Es H. & Schindelbeck, R. 2003. Field Procedures and Data Analysis for the Cornell Sprinkle Infiltrometer. Disponível em: <www.sjrcd.org/soilhealth/healthysoil/staff-infiltrometer.pdf> Acesso em Dez. 2012.
- Vezzani, F.M. & Mielniczuk, J. 2009. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 743-755.
- Vieira, S.R.; Brancalhão, S.R.; Grego, C.R. & Martins, A.L.M. 2010. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. *Revista Bragantia*, 69: 423-432.
- Warrick, A.W. & Nielsen, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, p. 319-344.