



Geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária

doi: 10.4136/ambi-agua.1236

Received: 01 Nov. 2013; Accepted: 11 Dec. 2013

Rafael Pires Fernandes^{1*}; Robson Willians da Costa Silva¹; Luiz Felipe Salemi¹; Tatiana Morgan Berteli de Andrade¹; Jorge Marcos de Moraes²

¹Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) - Piracicaba, SP, Brasil
Laboratório de Ecologia Isotópica

²Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP), Piracicaba, SP, Brasil

*Autor correspondente: e-mail: rpfernandes@cena.usp.br,
robsonwillians@yahoo.com.br, piposalemi@gmail.com,
tatymorgan@yahoo.com.br, jmmoraes@cena.usp.br

RESUMO

Buscando compreender a geração de escoamento superficial, processo de suma importância em relação à conservação do solo, disponibilidade de água e manejo de uma bacia hidrográfica, o presente trabalho teve como objetivo entender o processo de geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária. Para tanto, foram utilizadas nove parcelas distribuídas em três porções da vertente (inferior, intermediária e superior), sendo a porção inferior coberta por floresta ripária. A média do coeficiente de escoamento superficial ao longo da vertente no presente estudo mostrou-se superior em relação a outros estudos com diferentes usos do solo. Ademais, as lâminas obtidas sob cana-de-açúcar apresentaram valores superiores se comparados aos obtidos em floresta ripária, principalmente após o corte da soqueira. Além do tipo de cobertura do solo, outros fatores tais como as características dos eventos de precipitação, a declividade do terreno e os atributos físicos do solo, como a densidade aparente e a condutividade hidráulica em condição de saturação influenciaram a geração de escoamento superficial.

Palavras-chave: escoamento superficial, biocombustíveis, zona ripária, bacia hidrográfica.

Surface runoff generation in a small watershed covered by sugarcane and riparian forest

ABSTRACT

Since an understanding of how runoff is generated is of great importance to soil conservation, to water availability and to the management of a watershed, the objective of this study was to understand the generation of surface runoff in a watershed covered by sugarcane and riparian forest. Nine surface runoff plots were set up, evenly distributed on the lower, middle and upper slopes. The lower portion was covered by riparian forest. We showed that the average surface runoff coefficient along the slope in the present study was higher than in other studies under different land uses. Furthermore, the surface runoff was higher under sugarcane compared to the riparian forest, especially after sugarcane harvesting. Besides land cover, other factors such as the characteristics of rainfall events, relief and physical soil

characteristics such as soil bulk density and saturated hydraulic conductivity influenced the surface runoff generation.

Keywords: surface runoff, biofuel, riparian zone, catchment.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda de etanol, resultado da popularização dos veículos biocombustíveis, e a disponibilidade de recursos naturais oferecem ao Brasil excelentes condições para a produção de cana-de-açúcar, destacando a importância socioeconômica da agroindústria canavieira no país. Apesar dos efeitos deletérios sofridos pela crise financeira global de 2008 sobre a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, essa continuou se expandindo, ainda que em ritmo menos acelerado, sendo que a perspectiva para as próximas décadas é de aumento da demanda global por biocombustíveis, em particular o etanol, e subsequente crescimento da indústria sucroalcooleira (Elobeid e Tokgoz, 2006).

Todavia, a conversão de áreas originalmente cobertas por vegetação natural para culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, provoca perturbações no meio (Bonnell et al., 2010). Ao longo dos anos, o cultivo convencional da lavoura de cana-de-açúcar por meio de maquinário, a queima pré-corte, e também o pisoteio humano na colheita manual, ocasiona a compactação do solo (Alegre et al., 1991; Hammad e Dawelbeit, 2001; Soares et al., 2005; Camilotti et al., 2005; Strudley et al., 2008; Machado et al., 2010). Essas perturbações nos aspectos físico-hídricos do solo sob cultivo convencional acabam majorando a ação da água como agente erosivo, removendo partículas do solo e transportando-as vertente abaixo (Tucci e Clarke, 1997; Lima, 2000). De acordo com Tucci (2001), esse deslocamento de massa pode alterar o ciclo hidrológico, além de levar ao corpo hídrico sedimentos e poluentes, afetando o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (Soares et al., 2005). No entanto, não são apenas fatores antrópicos que favorecem na geração de escoamento superficial, mas também fatores de natureza geológica (tipo de solo, posição na paisagem) e condições climáticas (quantidade e intensidade da precipitação).

Diante desse contexto, a floresta ripária tem mostrado-se um elemento da paisagem que pode exercer um efeito atenuante expressivo na geração de escoamento superficial e no aporte de sedimentos para os corpos hídricos (Simmons et al., 1992; Lowrance et al., 1997, 2001; Dosskey, 2001; Schultz et al., 2004; Tundisi e Tundisi, 2010). Estas florestas, aqui entendidas como as vegetações que margeiam os rios (Lima e Zákia, 2000), podem promover um aumento da capacidade de infiltração, e desse modo, atuar como áreas que promovem a infiltração do escoamento superficial oriundo das áreas cultivadas (Lowrance et al., 1984; Meynendonckx et al., 2006; Li e Zhang, 2009; Wine e Zou, 2012). Entretanto, pouco é conhecido a respeito do papel das florestas ripárias em condições tropicais (Pinho et al., 2004; Salemi et al., 2011, 2012a) e, tampouco, conhece-se sobre a função hidrológica dessas em microbacias hidrográficas cuja cobertura predominante é a cana-de-açúcar.

Desta maneira, o presente trabalho teve como objetivo mensurar a geração de escoamento superficial em uma microbacia coberta predominantemente por cana-de-açúcar e com remanescente de floresta estacional semidecidual ao longo do curso d'água. Assim, busca-se compreender os fatores que governam a geração deste processo hidrológico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A microbacia utilizada no presente estudo possui 6 hectares e está localizada próxima ao exutório da bacia do rio Corumbataí, sub-bacia do rio Piracicaba, que se localiza na região centro-leste do estado de São Paulo, entre as latitudes 22°04'46''S e 22°41'28''S e longitudes

47°26'23''W e 47°56'15''W (Figura 1). A região apresenta clima do tipo subtropical Cwa (Sistema Köppen), com regime de chuvas exibindo duas estações bem definidas: seca (de abril a setembro) e úmida (de outubro a março). O solo predominante é o Argissolo Vermelho Amarelo.

A cobertura do solo na área de estudo, há mais de 50 anos, é predominantemente cana-de-açúcar (3,5 ha), com um remanescente de floresta secundária estacional semidecidual ripária (2,5 ha). Tal floresta apresenta dossel com porções irregulares indicando algum grau de perturbação e possui largura média em cada margem de cerca de 30 m e na cabeceira de aproximadamente 70 m. Nessa floresta há uma variedade de espécies com destaque para: *Cecropia pachystachya* Trécul, *Ocotea velutina* (Nees) Rohwer, *Solanum swartzianum* Roem. & Schult., *Cupania vernalis* Cambess., *Casearia sylvestris* Sw., *Zanthoxylum rhoifolium* Lam., *Trichilia catigua* A. Juss., *Trichilia clausenii* C. DC., *Eugenia florida* DC., *Piper arboreum* Aubl., *Rhamnidium elaeocarpum* Reissek, *Bauhinia longifolia* (Bong.) Steud., *Croton floribundus* Spreng, *Alchornea glandulosa* Poepp., *Celtis iguanae* (Jacq.) Sarg., *Tabernaemontana hystrix* Steud, *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr., *Cedrela fissilis* Vell. e *Guarea guidonia* (L.) Sleumer. Entretanto, alguns indivíduos emergentes de *Balfoudodendron riedelianum* (Engl.) Engl. também podem ser observados.

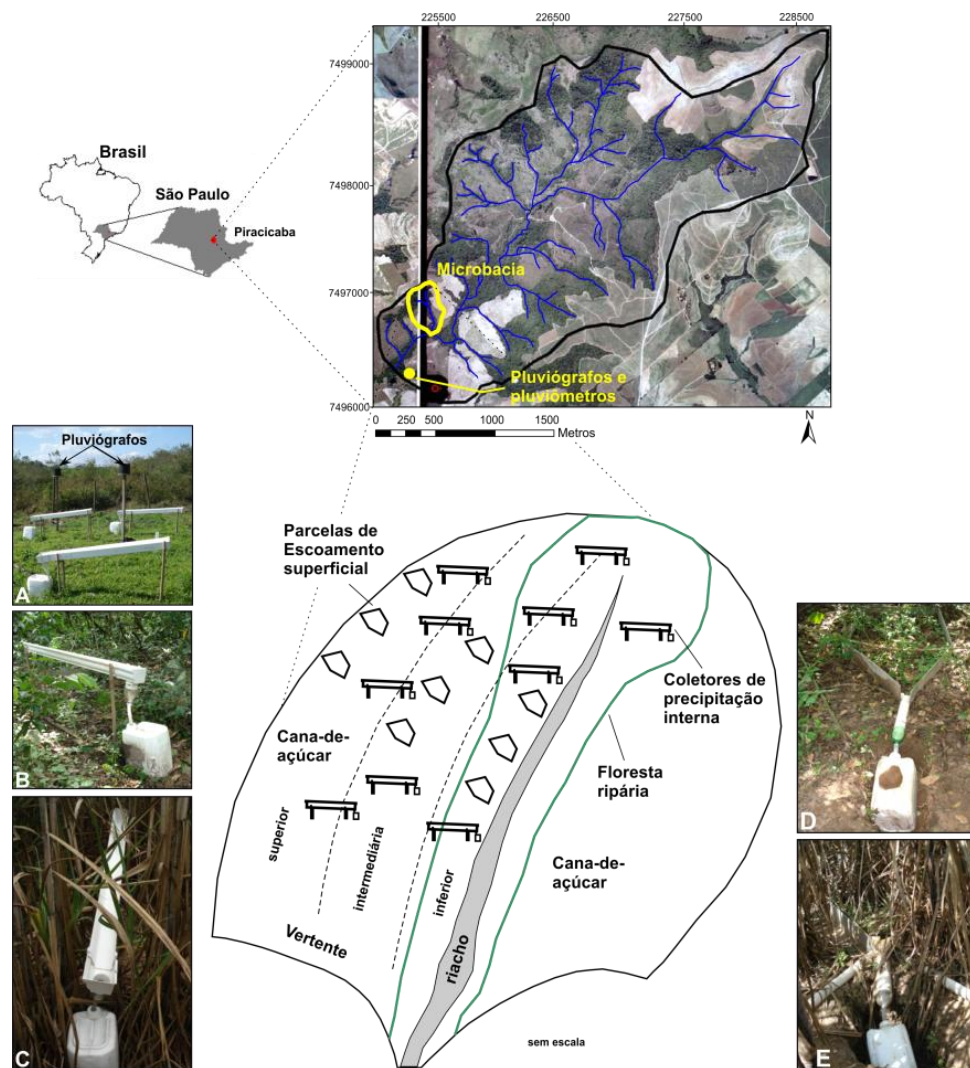


Figura 1. Área de estudo e delineamento experimental: Pluviógrafos e calhas coletoras de precipitação (A); Coletores de precipitação interna (B – na floresta ripária e C – na cana-de-açúcar); Parcelas de escoamento superficial (D – na floresta ripária e E – na cana-de-açúcar).

2.2. Delineamento Experimental

Foram instaladas 9 parcelas de escoamento superficial, com 1,7 m² de área, que foram delimitadas por placas de cimento de 0,3 m de altura, evitando assim, a influência de áreas vizinhas na área de coleta. Em sua parte inferior, foram instalados tubos de PVC direcionando a água para um galão de 20 L locado em uma trincheira (Figura 1). A distribuição das parcelas no campo foi feita segmentando a vertente em três partes, a saber: inferior sob floresta ripária, e intermediária / superior sob cana-de-açúcar (Figura 1). Em cada uma dessas porções da vertente, uma triplicata de parcelas foi instalada (Figura 1).

Para a quantificação da precipitação foram instaladas 3 calhas coletoras (com área de 0,2 m²) e para a medição da intensidade das mesmas 2 pluviógrafos do tipo “*tipping bucket*” (*RainLog, RainWise, Inc*) em uma área vizinha, desprovida de vegetação (Figura 1). Já para a quantificação da precipitação interna, isto é, a lâmina de água que passa pelo dossel, foram instaladas 5 calhas coletoras sob floresta ripária, e 5 calhas coletoras sob cana-de-açúcar, todas com área de 0,2 m², distribuídas de forma aleatória.

O monitoramento hidrológico ocorreu no período de 30 de junho a 14 de dezembro de 2011, com periodicidade semanal. O cálculo da lâmina (mm) de escoamento superficial, precipitação e precipitação interna foi realizado por meio da divisão do volume coletado (m³) pela área de captação do respectivo coletor (m²). Assim, utilizando-se as quantidades de precipitação e de escoamento superficial de cada parcela calculou-se o coeficiente de escoamento superficial, definido como a razão entre a lâmina de água escoada superficialmente e o volume de água precipitado, ambos expressos em mm.

Medidas de condutividade hidráulica do solo em condição de saturação foram realizadas em 3 pontos, próximos às parcelas de escoamento superficial de cada porção da vertente. Para tanto, empregou-se um permeâmetro de carga constante (*Amoozometer*®) em 4 profundidades do solo (0,15 m; 0,30 m; 0,50 m e 0,90 m).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Densidade do aparente do solo

A densidade aparente do solo variou de 1,39 a 1,78 Mg m⁻³, com média de 1,67 Mg m⁻³. A porção inferior da vertente, coberta por floresta ripária, foi aquela que apresentou menores valores de densidade em todas as profundidades em relação às cotas superiores, variando de 1,62 Mg m⁻³ na profundidade de 0,15 m a 1,39 Mg m⁻³ a 0,9 m. As porções intermediária e superior, por sua vez, apresentaram pouca variação de densidade conforme aumento de profundidade, apresentando valores médios, em relação à todas as profundidades, de 1,76 Mg m⁻³ e 1,71 Mg m⁻³, respectivamente. Os maiores valores de densidade nas três porções da vertente ocorreram na profundidade de 0,30 m, mais precisamente no horizonte B textural, provavelmente devido aos maiores teores de argila neste horizonte do solo (Figura 2).

3.2. Precipitação

A precipitação total no período do estudo foi de 468 mm, com classe de intensidade 0-5 mm h⁻¹ compreendendo cerca de 75% dos eventos e cerca de 35% da contribuição para a precipitação total. Ao considerarmos o intervalo de classe de 0-15 mm h⁻¹, a frequência de eventos desta classe de intensidade aumenta para 93% com 73,5% de contribuição do total precipitado.

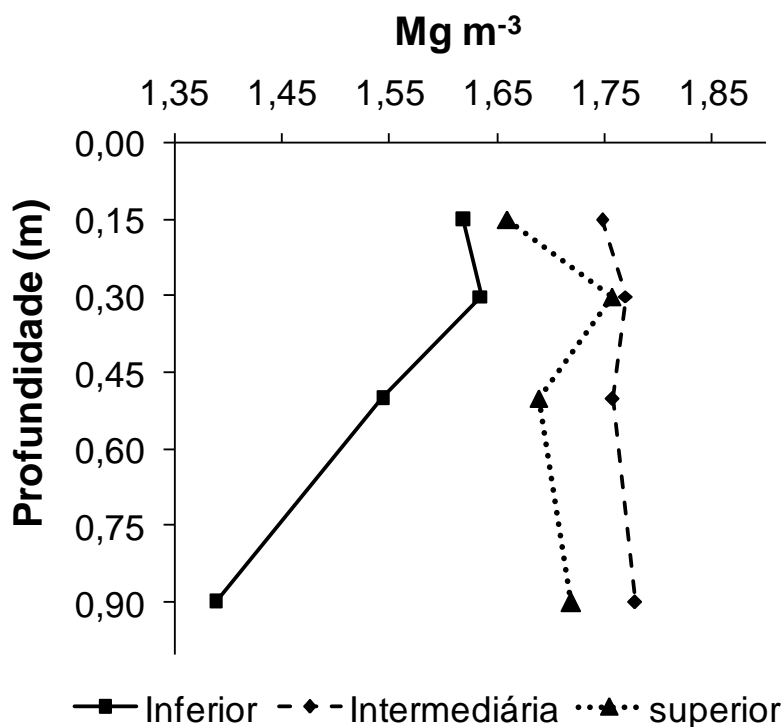


Figura 2. Média da densidade aparente do solo nas porções da vertente (0,15, 0,30, 0,50 e 0,90 m) nas porções inferior, intermediária e superior da vertente.

3.3. Condutividade hidráulica do solo em condição de saturação

Os valores de condutividade hidráulica do solo em condição de saturação (K_{sat}) decresceram em profundidade nas porções inferior e intermediária (Figura 3), indicando, como esperado, a presença de um horizonte sub-superficial menos permeável à água.

A porção inferior, sob floresta ripária, apresentou medianas de K_{sat} decrescentes em profundidade ($51,70 \text{ mm h}^{-1}$; $24,78 \text{ mm h}^{-1}$; $7,97 \text{ mm h}^{-1}$; $3,54 \text{ mm h}^{-1}$) (Figura 3A). A comparação destes valores aos de intensidades de chuva pode fornecer evidências das possíveis vias hidrológicas tomadas durante os eventos pluviais (Bonell, 2005; Zimmermann et al., 2006; Zimmermann e Elsenbeer, 2008). Nesta porção, até a profundidade de 0,5 m as medianas de K_{sat} são superiores às intensidades de chuva predominante, assim a água pluvial infiltra-se no solo ao invés de escoar em superfície. Contudo, a 0,9 m, a mediana de K_{sat} não excede a intensidade de chuva predominante, o que permite inferir a formação de um lençol suspenso que, em alguns momentos, pode-se estender até a superfície do solo, provocando escoamento superficial devido à saturação.

O alto valor da mediana de K_{sat} ($54,71 \text{ mm h}^{-1}$) encontrado na superfície da floresta ripária foi inferior aos valores encontrados em florestas não perturbadas (Goes et al., 2005; Zimmermann et al., 2013). No entanto, mostrou-se superior aos valores encontrados por Moraes et al. (2006) em capoeira na Amazônia e por Bonell et al. (2010) em uma floresta secundária na Índia.

Em relação ao solo sob cana-de-açúcar (cota intermediária e superior), as medianas de K_{sat} foram menores em relação à porção inferior (Figura 3B e C), demonstrando que um processo de compactação do solo pelo seu manejo, fato este em linha com o reportado em outros trabalhos (e.g. Alegre et al., 1991; Hammad e Dawelbeit, 2001; Soares et al., 2005; Camilotti et al., 2005).

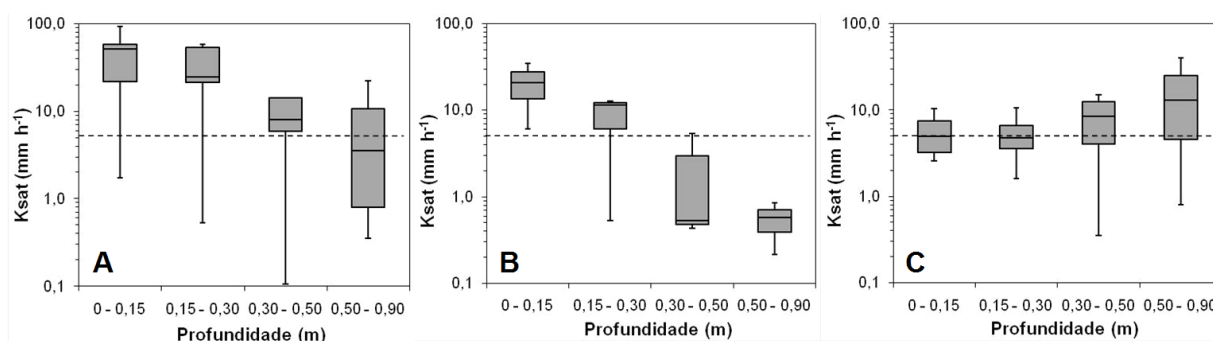


Figura 3. Diagrama de caixas dos valores de condutividade hidráulica em condição de saturação (K_{sat}) em mm h^{-1} nas porções da vertente (A – inferior, B – intermediária, C – superior). A linha horizontal dentro das caixas representa a mediana, as linhas extremas representam o primeiro e o terceiro quartil e o limite das barras verticais os valores máximos e mínimos. A linha pontilhada na horizontal representa a intensidade da chuva predominante durante o período de estudo (5 mm h^{-1}).

3.4. Escoamento Superficial

Considerando-se somente aqueles eventos pluviais que geraram lâmina de escoamento superficial, nota-se que os maiores valores de escoamento superficial ocorreram nas porções intermediária e superior da vertente, que também possuem maior declividade (Tabela 1). Essa diferença ficou ainda mais notável após a colheita da soqueira (Figura 4).

Notou-se, portanto, uma relação positiva entre a declividade do terreno e os valores de escoamento superficial (Tabela 1; Figura 4). Em outras palavras, o aumento da declividade do terreno implicou em coeficientes de escoamento superficial mais elevados. Tal observação está em linha com o esperado, uma vez que um aumento de declividade tende a fazer com que a água escoe mais rapidamente na superfície do solo, ocasionando menor infiltração da água (Fang et al., 2008; Akbarimehr e Naghdi, 2012).

Na área coberta por floresta ripária (porção inferior), foram encontrados os menores valores de escoamento superficial (Tabela 1). Este resultado pode ser atribuído a um conjunto de fatores como maiores valores de K_{sat} , menor declividade, fatores físico-hídricos do solo, entre outros. No que se refere a estes fatores, a presença e adição constante de matéria orgânica do solo sob floresta favorece a agregação do solo (Cunha et al., 2007) e também estimula a atividade de organismos que produzem poros de variados tamanhos (Ferreira et al., 2011). Da mesma forma, a maior porosidade do solo também é favorecida pela grande quantidade de raízes (Bonell, 2005). Todos estes fatores confluem para uma maior capacidade de infiltração e percolação dos solos destas áreas de floresta, o que facilita a infiltração e a recarga do aquífero (Cheng et al., 2002; Wine e Zou, 2012).

De fato, os valores de K_{sat} indicaram valores mais altos sob floresta, quando comparado às porções da vertente sob cana-de-açúcar (Figura 3). Além disso, os valores de densidade aparente do solo sob cana-de-açúcar mostraram-se claramente maiores em relação aos da floresta ripária (Figura 2), provavelmente em função da compactação do solo agrícola e da maior porosidade do solo florestal. Estes resultados estão de acordo com diversos trabalhos que demonstraram que há maior geração de escoamento superficial em áreas de cultivo em relação a áreas sob floresta (e.g. Zimmermann et al., 2006; Chaves e Piau, 2008; Zimmermann e Elsenbeer, 2008; Scheffler et al., 2011; Hassler et al., 2011).

As médias dos coeficientes de escoamento superficial ao longo da vertente do presente estudo mostraram-se superiores em relação a outros locais com usos do solo com desenho experimental similar. Por exemplo, Trevisan et al. (2012), em uma microbacia com plantação florestal de eucalipto em São Luiz do Paraitinga - SP, obtiveram valores de 0,007; 0,012; 0,039 para as porções inferior, intermediária e superior, respectivamente (todas as porções sob eucalipto). Da mesma forma, Salemi et al. (2012b), em microbacia inteiramente coberta por

pastagem, encontraram valores médios de 0,016 para porção inferior; 0,006 para a intermediária e 0,017 para a superior. A média do coeficiente de escoamento superficial obtida no presente estudo para floresta ripária (0,05) é similar aos registrados em áreas de florestais na Mata Atlântica (Fujieda et al., 1997; Ranzini, 2002).

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de lâmina de escoamento superficial (mm) e para o coeficiente de escoamento superficial nas porções (Inf.- inferior, Int.- intermediária, Sup. – superior) da vertente (n = 8).

Porção	Soma ^a	Média ^a	Mediana ^a	Mínimo ^a	Máximo ^a	1º Quartil ^a	3º Quartil ^a	Desvio Padrão ^a	Média ^b	Declividade (%)
Inf.	23,74	3,96	4,52	0,02	8,75	0,51	5,41	3,26	0,05	2,5
Int.	32,26	4,61	4,97	0,03	8,95	1,06	8,36	3,31	0,07	9
Sup.	38,28	4,79	4,58	0,05	10,16	1,32	8,14	3,83	0,08	13

Nota: ^a referente às lâminas de escoamento superficial.

^b referente aos coeficientes de escoamento superficial.

Provavelmente esta similaridade de resultados pode ser atribuída ao fato de haver ampla geração de escoamento superficial de saturação nas áreas da Serra do Mar (Ranzini, 2002), fato comum ao observado na área de floresta ripária do presente estudo. Contudo, coeficientes de escoamento superficial de uma ordem grandeza inferior do que destes dois últimos trabalhos (i.e. Fujieda et al., 1997; Ranzini, 2002) foram reportados mais recentemente (Groppo, 2010), o que sugere alta variação espacial no tocante à geração de escoamento superficial na Serra do Mar.

Por meio da variação semanal do escoamento superficial e da precipitação interna, verificou-se que os totais acumulados de precipitação inferiores a 11 mm não ocasionaram escoamento superficial em nenhuma das porções da vertente. No caso da porção inferior da microbacia (área de floresta ripária), o valor mínimo de precipitação interna para a geração de escoamento superficial foi de cerca de 20 mm. Outros fatores que influenciaram os coeficientes de escoamento superficial foram as características de intensidade e duração do evento de precipitação, bem como a umidade do solo relativa ao período que antecede o evento pluvial, ou seja, a umidade antecedente (Figura 4). A título de exemplo, na campanha de campo ocorrida dia 21 de novembro de 2011, a precipitação semanal foi equivalente a 109 mm, quantidade esta substancialmente superior à da campanha de campo do dia 14 de dezembro (68 mm). Todavia, os volumes de escoamento superficial foram maiores no último evento. Isto pode ser explicado pela ocorrência de chuvas (158 mm) nas três semanas anteriores a esta última coleta e pela intensidade e duração do evento de precipitação.

A precipitação interna correlacionou-se positivamente com a lâmina de escoamento superficial nas três porções da vertente (Figura 5). No entanto, as maiores correlações ocorreram nas porções intermediária e superior, ambas sob cana-de-açúcar (Figura 5).

Verificou-se que após o corte da soqueira, houve relativo aumento na geração de escoamento superficial nas duas porções da vertente cobertas por cana em relação à cobertura florestal (Figura 3). Esse aumento também é resultado da inexistência de interceptação da água da chuva que, além de permitir que maior quantidade de água atinja o solo, favorece o processo de formação de crostas superficiais que contribuem para reduzir a taxa de infiltração (Castilho et al., 2011).

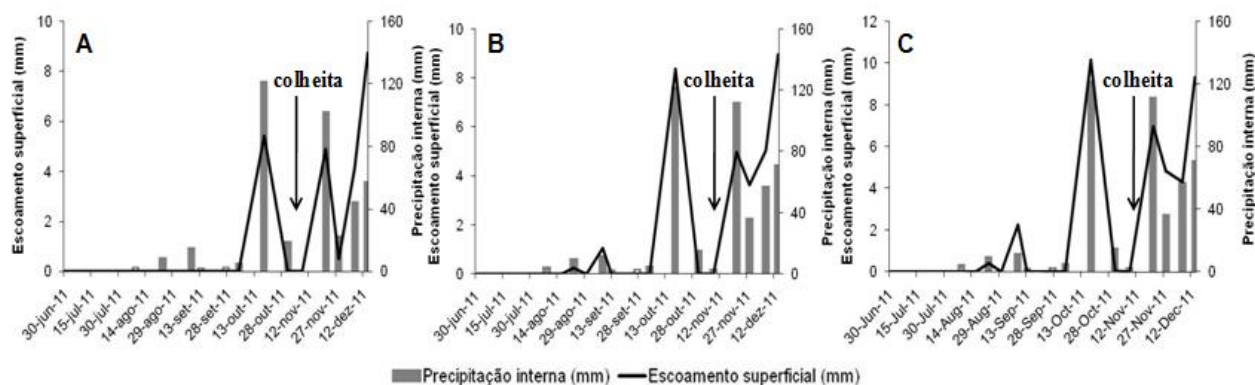


Figura 4. Precipitação interna e escoamento superficial acumulados em base semanal: a - porção inferior; b – porção intermediária; c - porção superior da vertente. Para melhor visualização do efeito da ausência de cobertura vegetal sobre as taxas de escoamento superficial, a data colheita da cana-de-açúcar (que ocorreu nas porções intermediária e superior) está indicada em todas as porções.

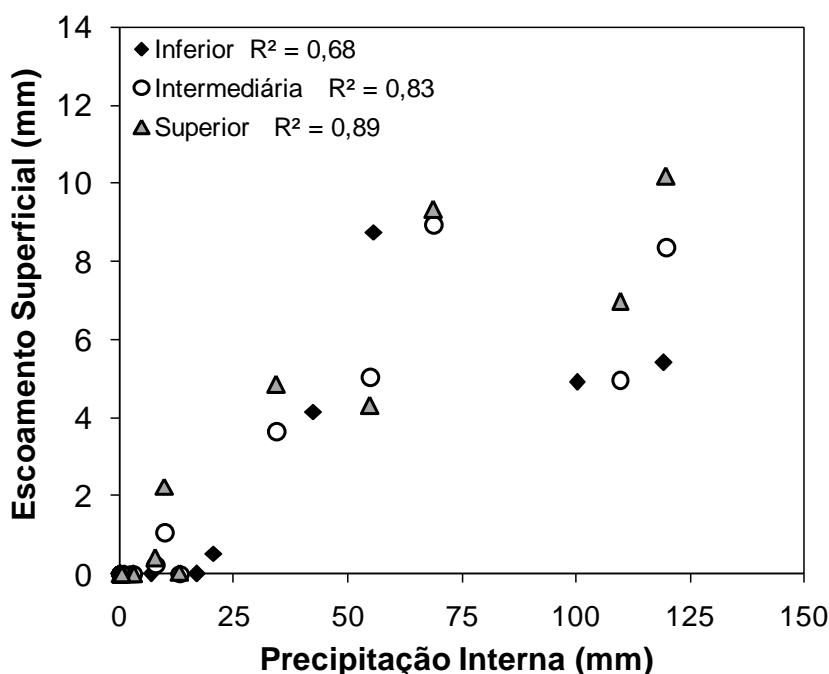


Figura 5. Relação entre escoamento superficial semanal e precipitação interna semanal.

Dessa forma, pode-se verificar a efetiva ação da interceptação vegetal na redução da geração do escoamento superficial e, portanto, da erosão e seus efeitos negativos como o assoreamento de rios e lagos, perda de nutrientes do solo e redução da qualidade das águas.

O presente estudo é a primeira tentativa de elucidar a geração de escoamento superficial em uma vertente coberta por cana-de-açúcar e floresta ripária. Embora o período de presente estudo não tenha contemplado um ano hidrológico, esse estudo já fornece evidências hidrológicas a respeito da existência das florestas ripárias em áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar. Estas informações juntamente ao fato das florestas ripárias poderem ajudar a conservar a diversidade biológica em paisagens agrícolas, mostram que esses ecossistemas florestais têm efeitos positivos no tocante à conservação do solo e da água em ambientes agrícolas dominados pela agricultura intensiva da cana-de-açúcar. Contudo, outros estudos de natureza similar ainda se mostram necessários.

4. CONCLUSÃO

A geração de escoamento superficial na microbacia foi altamente influenciada pela topografia, intensidade e duração dos eventos de precipitação, pela interceptação da chuva pelo dossel da vegetação, e também pelos atributos físico-hídricos do solo, como o Ksat.

Os resultados indicam a menor permeabilidade dos solos sob cana-de-açúcar, resultado combinado de áreas de solos mais compactadas e da maior declividade do terreno. Estes dois fatores favorecem o escoamento superficial da água da chuva que atinge a superfície do solo.

As florestas ripárias, devido à sua posição na paisagem relacionada à baixa declividade e às condições de maior permeabilidade do solo, são zonas de menor geração de escoamento superficial em relação às áreas sob cana-de-açúcar. Desta forma, nota-se a importância da floresta ripária na minimização dos impactos do escoamento superficial advindo da cana-de-açúcar sobre os recursos hídricos em microbacias com as mesmas características nesses agroecossistemas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Fundo de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da presente pesquisa (Processos 2011/00978-5 e 2010/20256-1). Além disso, os autores gostariam de agradecer ao CENA/USP que, por meio dos seus funcionários e estrutura, tornou essa pesquisa possível.

6. REFERÊNCIAS

- AKBARIMEHR, M.; NAGHDI, R. Assessing the relationship of slope and runoff volume on skid trails (Case study: Nav 3 district) **Journal of Forest Science**, v. 58, p. 357–362, 2012.
- ALEGRE, J. C.; CASSEL, D. K.; AMEZQUITA, E. Tillage systems and soil properties in Latin America. **Soil and Tillage Research**, v. 20, p. 147–163, 1991. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90037-X](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(91)90037-X)
- BONELL, M. Runoff generation in tropical forests. In: BRUIJNZEEL, L. A. **Forests, water and people in the humid tropics**. Cambridge University Press: Cambridge, 2005. p. 314-406. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511535666>
- BONELL, M.; PURANDARA, B. K.; VENKATESHB, B.; KRISHNASWAMYCM, J.; ACHARYA, H. A. K.; SINGHE, U. V. et al. The impact of forest use and reforestation on soil hydraulic conductivity in the Western Ghats of India: Implications for surface and sub-surface hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 391, p. 47– 62, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.004>
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M.; CENTURION, J. F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 189-98, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100021>
- CASTILHO, S. C. P.; COOPER, M.; JUHÁSZ, E .P. Influence of crust formation under natural rain on physical attributes of soils with different textures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1893–1905, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600006>

- CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 333-343, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100031>
- CHENG, J. D.; LIN, L. L.; LU, H. S. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. **Forest Ecology and Management**, v. 165, p. 11-28, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00626-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00626-0)
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000100010>
- DOSSKEY, M. G. Toward quantifying water pollution abatement in response to installing buffers on crop land. **Environmental Management**, v. 28, p. 577– 598, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s002670010245>
- ELOBEID, A.; TOKGOZ, S. Removal of U.S. Ethanol Domestic and Trade Distortions: Impact on U.S. and Brazilian Ethanol Markets. **Center for Agricultural and Rural Development (CARD)**, Working Paper 06-WP, p. 427, 2006.
- FANG, H. Y.; CAI, Q. G.; CHEN, H.; LI, Q. Y. Effect of rainfall regime and slope on runoff in a gullied loess region on the loess plateau in China. **Environmental Management**, v. 42, p. 402–411, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-008-9122-6>
- FERREIRA, E. V. O.; MARTINS, V.; INDA JUNIOR, A. V.; GIASSON, E. L.; NASCIMENTO, P. C. Ação dos térmitas no solo. **Ciência Rural**, v. 41, n.5, p. 804-811, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000044>
- FUJIEDA, M.; KUDOH, T.; CICCIO, V.; CARVALHO, J. L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 196, p. 26 – 46, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00015-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00015-2)
- GÓES, G. B. de; GREGGIO, T. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. **Irriga**. v. 10, n. 2, p. 116 – 122, 2005.
- GROPPO, J. D. **Caracterização hidrológica e dinâmica do Nitrogênio em uma microbacia com Cobertura Florestal (Mata Atlântica), no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Santa Virgínia**. 2010. 80f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2010.
- HAMMAD, E. A.; DAWELBEIT, M. I. Effect of tillage and Field condition on soil physical properties, cane and sugar yields in vertisols of Kenana sugar estate, Sudan. **Soil and Tillage Research**, v. 62, p. 101–109, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00221-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00221-5)
- HASSLER, S. K.; ZIMMERMANN, B.; VAN BREUGEL, M.; HALL, J. S.; ELSENBEER, H. Recovery of saturated hydraulic conductivity under secondary succession on former pasture in the humid tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1634–1642, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.031>

- LI, S.; ZHANG, Q. Geochemistry of the upper Han River basin, China. 2: seasonal variations in major ion compositions and contribution of precipitation chemistry to the dissolved load. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 605 - 611, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.022>
- LIMA, W. P. Importância das florestas para a produção de água. In: SIMPÓSIO SOBRE RECUPERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, 3., 2000, Piracicaba. Piracicaba: IPEF;ESALQ, 2000. p. 8 – 13.
- LIMA, W. P.; ZAKIA M. J. B. **Hidrologia de matas ciliares**. In: RODRIGUES; R. R.; LEITÃO FILHO; H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p. 33-43.
- LOWRENCE, R.; TODD, R.; FAIL Jr, J.; HENRICKSON Jr, O.; LEONARD, R.; ASMUSSEN, C. Riparian forests as nutrient filters in agricultural water sluds. **Bioscience**, v. 34, n. 6, p. 374-377, 1984.
- LOWRANCE, R.; VELLIDIS, G.; WAUCHOPE, R. D.; GAY, P.; BOSH, D. D. Herbicide transport in a managed riparian forest buffer system. **Transactions of the ASAE**, v. 40, p. 1047-1057, 1997.
- LOWRANCE, R.; WILLIAMS, R. G.; INAMDAR, S. P.; BOSH, D. D.; SHERIDAN, J. M. Evaluation of coastal plain conservation buffers using the riparian ecosystem management model. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, p. 1445-1455, 2001. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03651.x>
- MACHADO, W.; TELLES, T. S.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; ALVES, G. B.; BORGES, J. L. B. Physical properties of a rhodic haplustox under two sugarcane harvesting systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1803-1809, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600004>
- MEYNENDONCKX, J.; HEUVELMANS, G.; MUYS, B.; FEYEN, J. Effects of watershed and riparian zone characteristics on nutrient concentrations in the River Scheldt Basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 10, p. 913 – 922, 2006. <http://dx.doi.org/10.5194/hessd-3-653-2006>
- MORAES, J. M.; SCHULER, A. E.; DUNNE, T.; FIGUEIREDO, R.O.; VICTORIA, R.L. Water storage and runoff process in plinthic soils under forest and pasture in eastern Amazonia. **Hydrological Process**, Bristol, v. 20, p. 2509-2526, 2006. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.6213>
- PINHO, A. P.; MATOS, A. T.; COSTA, L. M.; MORRIS, L. A.; JACKSON, R. C.; WHITE, W. et al. Retenção de atrazina, picloram e caulinita em zona ripária localizada em área de silvicultura. **Engenharia na Agricultura**, v. 12, n. 4, p. 260-270, 2004.
- RANZINI, M. **Modelagem hidrológica de uma microbacia florestada da Serra do Mar, SP, com o modelo TOPMODEL – simulação do comportamento hidrológico em função do corte raso**. 2002. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- SALEMI, L. F.; GROppo, J. D.; TREVISAN, R.; MORAES, J. M.; LIMA, W. L.; MARTINELLI, L. A. Aspectos hidrológicos da recuperação florestal de áreas de preservação permanente ao longo dos corpos d'água. **Revista do Instituto Florestal**, v. 23, n. 1, p. 69 – 80, 2011.

- SALEMI, L. F.; GROPPPO, J. D.; TREVISAN, R.; MORAES, J.M.; LIMA, W. P.; MARTINELLI, L.A. Riparian vegetation and water yield: a synthesis. **Journal of Hydrology**, v. 454, p. 195-202, 2012a. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.061>
- SALEMI, L. F.; GROPPPO, J. D.; TREVISAN, R.; SEGHESE, G. B.; MORAES, J. M.; FERRAZ, S. F. B. et al. Consequências hidrológicas da mudança de uso da terra de floresta para pastagem na região da floresta tropical pluvial atlântica. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 127 - 140, 2012b. <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente.927>
- SCHEFFLER, R.; NEILL, C.; KRUSCHE, A. V.; ELSENBEER, H. Soil hydraulic response to land-use change associated with the recent soybean expansion at the Amazon agricultural frontier. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 144, p. 281–289, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.016>
- SCHULTZ, R. C.; ISENHART, T. M.; SIMPKINS, W. W.; COLETTI, J. P. Riparian forest buffers in agrosystems- lessons learned from the Bear Creek Watershed, Central Iowa, USA. **Agroforestry Systems**, v. 61. p. 35 – 50, 2004. <http://dx.doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028988.67721.4d>
- SIMMONS, R. C.; GOLD, A. J.; GROFFMAN, P. M. Nitrate dynamics in riparian forests: groundwater studies. **Journal of Environmental Quality**, v. 21, p. 659-665, 1992. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq1992.00472425002100040021x>
- SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; FOLONI, L. L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 353 – 359, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000200016>
- STRUDLEY, M. W.; GREEN, T. R.; ASCOUGH II, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil and Tillage Research**, v. 99, p. 4 – 48, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.01.007>
- TREVISAN, R.; SALEMI, L. F.; GROPPPO, J. D.; SILVA, R. W. C.; MARTINELLI, L. A.; MORAES, J. M. Dinâmica da água em uma microbacia com cobertura florestas de eucalipto localizada na Serra do Mar no Vale do Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 207-216, 2012.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135 - 152, 1997.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS; ABRH, 2001. 943p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos)
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Potencial impacts of changes in the Forest Law in relation to water resources. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, p. 67 – 75, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032010000400010>
- WINE, M. W.; ZOU, C. B. Long-term streamflow relations with riparian gallery forest expansion into tallgrass prairie in the Southern Great Plains, USA. *Forest Ecology and Management*, v. 266, p. 170-179, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.014>

-
- ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. **Forest Ecology and Management**, v. 222, p. 29-38, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.070>
- ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H. Spatial and temporal variability of soil saturated hydraulic conductivity in gradients of disturbance. **Journal of Hydrology**, v. 361, p. 78–95, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.027>
- ZIMMERMANN, A.; SCHINN, D. S.; FRANCKE, T.; ELSENBEER, H.; ZIMMERMANN, B. Uncovering patterns of near-surface saturated hydraulic conductivity in an overland flow-controlled landscape. **Geoderma**. v. 195, n. 196, p. 1 – 11, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.002>