

# A MENSURAÇÃO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO EM SISTEMAS VERTENTES E SUA RELAÇÃO NA DINÂMICA EROSIVA.

SILVEIRA, A.<sup>1</sup>

CUNHA, C.M.L da<sup>2</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar a vertente como um sistema compreendendo sua dinâmica processual, sobretudo no que concerne ao processo de infiltração e sua relação com a cobertura vegetal, os tipos de solo e a declividade, implicando diretamente no escoamento superficial e, por conseguinte nos processos erosivos. A pesquisa teve como área de estudo uma vertente de um afluente da média bacia do Rio Corumbataí, chamado por Ribeirão das Velhas, instalado no compartimento geomorfológico Depressão Periférica Paulista, Zona do Médio Tietê. Teve como fundamentação teórica a *Teoria Geral dos Sistemas* aplicada à ciência geográfica, sobretudo no que concerne aos sistemas geomorfológicos.

Palavras chave: sistema vertente, capacidade de infiltração e processos erosivos.

## Abstract

This paper aims to examine the part as a system comprising its dynamic procedure, especially concerning the process of infiltration and their relationship with land cover, the types of soil and slope, resulting directly in the runoff and therefore in proceedings erosive. The search area of study had as a part of a tributary of the average basin of Rio Corumbataí, called by Ribeirão das Velhas, installed in the chamber geomorphological Depression Peripheral Paulista, the Middle Tietê Zone. It was the theoretical foundation of General Systems Theory applied to geographical science, especially when it comes to systems geomorphologic.

Key words: strand system, capacity of infiltration and erosive processes.

1. Geógrafo e Mestrando em Geografia na UNESP (Campus de Rio Claro) silveira\_81@hotmail.com

2. Profª Dra. do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (IGCE/UNESP Rio Claro) [cenira@rc.unesap.br](mailto:cenira@rc.unesap.br)

## INTRODUÇÃO.

A vertente, definida por Jan Dylík (1968, apud Christofolletti, 1974) como uma “forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado, e representando a conexão dinâmica entre interflúvio e fundo de vale” apresenta alta complexidade em seu funcionamento, caracterizando-se por um sistema que é parte constituinte ou um sub-sistema do sistema bacia hidrográfica. Christofolletti (1974, p. 46), quanto à dinâmica estabelecida no sistema vertente argumenta que:

[...] a sua dinâmica pode ser estudada na perspectiva dos sistemas abertos, recebendo e perdendo tanto matéria como energia. As fontes primárias de matéria são a precipitação, a rocha subjacente e a vegetação. Enquanto as fontes originais de energia são constituídas pela gravidade e radiação solar. Os vários processos que se verificam na vertente (escoamento, meteorização, movimentos de regolito, infiltração, eluviação e outros) fazem que haja o fluxo de matéria e energia através do sistema, que acaba sendo transferido para o sistema fluvial.

Cassetti (1983), citando a contribuição de Jahn (1954) em estudo sobre a evolução das vertentes, apresenta dois componentes referentes às forças morfogenéticas atuantes na vertente. O primeiro refere-se ao componente perpendicular, caracterizado pela infiltração, enquanto o segundo é referenciado como componente paralelo, expresso pelo processo denudacional, ou seja, a ação realizada pelo *runoff*. O autor ainda acrescenta o modelo de Horton (1933), considerando-o como o primeiro modelo clássico de hidrologia da vertente, sendo que a superfície pode oferecer dois componentes básicos, correspondentes à água infiltrada, que acontecerá enquanto a capacidade de infiltração permitir e a água de escoamento, que inicia com a saturação do limite de capacidade de infiltração (CASSETTI, 1991).

Mafra (1999, p.303), argumenta que o modelo proposto por Horton (1993), relativo à capacidade de infiltração, “explica a formação de excedente de água para condições de velocidade de aporte de água superiores à velocidade de infiltração”. Sobre o mesmo modelo, Guerra (1995, p.168) compreende que:

[...] se a intensidade da chuva for menor do que a capacidade de infiltração do solo, não haverá *runoff* (fluxo hortoniano). Mas, se a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração, ocorrerá *runoff*.

Coelho Netto (1995), refere-se ao processo de infiltração como resultante das relações de interdependência dos mecanismos de entrada na superfície do solo, de estocagem dentro do solo e transmissão de umidade do solo. Argumenta que o solo apresenta uma taxa máxima de absorção, referindo-se ao modelo de Horton (1933), denominado por capacidade

de infiltração. A autora infere que a quantidade de água que infiltra é definida pela relação entre a intensidade da chuva e a capacidade de infiltração:

[...] quando a intensidade da chuva é menor do que a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração é igual à taxa de chuva; porém, quando a intensidade da chuva ultrapassa a capacidade de infiltração, o solo absorve parte da água de acordo com sua capacidade, e o excedente de precipitação, após preencher as microdepressões do terreno, escoar sobre a superfície em direção aos canais (COELHO NETTO 1995, p. 119).

Assim, com a saturação do solo atingindo o limiar da capacidade de infiltração, vem a promover o *runoff*, que carrega os sedimentos/partículas do solo, de forma difusa, provocando erosão em lençol, ou de forma linear, concentrando os fluxos de água, desenvolvendo processos erosivos lineares (GUERRA, 1999).

O limiar da capacidade de infiltração também está diretamente relacionado com a declividade das vertentes, bem como a tipologia dos solos existentes. A primeira, de acordo com seu grau de inclinação, favorece ou reduz a energia do escoamento das águas pluviais, como também o desenvolvimento dos perfis de solos. Já estes, conforme suas tipologias possuem diferentes vulnerabilidades a erosão, diretamente relacionados à sua textura, estrutura, consistência, desenvolvimento do perfil dos solos, entre outros, o que afeta sua permeabilidade (MAFRA, 1999). Quanto à textura, a autora argumenta que:

O domínio das frações de areia fina e silte, por exemplo, favorece uma maior erodibilidade, enquanto elevados percentuais de areia grossa permitem uma maior permeabilidade e portanto menor erodibilidade. De um modo geral, os solos que apresentam percentuais elevados de argila possuem uma boa coesão e uma apreciável estabilidade estrutural [...]. É importante a avaliação desse conjunto de características e propriedades e sua relação como a capacidade de infiltração do solo, uma das condições determinantes do processo erosivo (MAFRA, 1999, p.302).

Christofolletti (1974) inseriu nesta temática a atuação da cobertura vegetal no processo de infiltração. Apresentou um modelo de retroalimentação positiva, relacionando o desmatamento, a capacidade de infiltração, o escoamento superficial e a erosão das vertentes, considerando que este tipo de retroalimentação causa um efeito “bola de neve” não promovendo a estabilização do sistema, mas sim sua destruição. Argumenta que:

[...] o desmatamento (ação externa) diminui a capacidade de infiltração e aumenta o escoamento superficial (correlação negativa). O aumento do escoamento superficial aumenta a erosão das vertentes (correlação positiva), e essa erosão diminui a capacidade de infiltração (correlação negativa) (CHRISTOFOLETTI 1974, p. 5).

Em trabalho desenvolvido sobre a complexidade e estabilidade de sistemas geomorfológicos, quanto aos mecanismos de retroalimentação, Mattos e Perez Filho (p.12, 2004) inferem que:

Como não há apenas relações de causa-efeito entre os elementos, a resposta do sistema a uma dada perturbação do ambiente é, via de regra, desproporcional a magnitude dessa perturbação: a existência de mecanismos de retroalimentação negativa garante uma minimização dos efeitos provocados por essa perturbação, enquanto circuitos de retroalimentação positiva levam à ampliação desses efeitos [...]

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo principal à análise da vertente como um sistema compreendendo sua dinâmica processual, sobretudo no que concerne ao processo de infiltração e sua relação com a cobertura vegetal, os tipos de solo e a declividade das vertentes, implicando diretamente no escoamento superficial e, por conseguinte nos processos erosivos.

Para mensurar a capacidade de infiltração apoiou-se nos procedimentos técnicos descritos por Guerra (1996) e Coelho Netto e Avelar (1996), a partir da experimentação, com a utilização do infiltrômetro cilíndrico de Hills (1970, apud Guerra, 1996).

Já a presença ou carência de cobertura vegetal analisou-se nas investidas ao campo. Os tipos de solos foram aferidos a partir de documentos cartográficos já existentes, como o do IAC (1989), com os trabalhos de campo, bem como a análise granulométrica do horizonte superficial. Por fim, a declividade foi averiguada a partir da carta topográfica, utilizando-se dos procedimentos técnicos de De Biase (1970 e 1992), registrando com o uso de um ábaco graduado, as classes de declive.

Para atingir tais objetivos, dividiu-se, para efeito operacional, a Pesquisa em três grandes etapas: Teórica/Bibliográfica, que corresponde à fase de construção teórica e prática da pesquisa; Experimental/Campo, correspondente a experimentação e a observação em campo; e Gabinete e Laboratorial, cuja fase representa a organização e análise dos dados encontrados em campo.

A pesquisa teve como palco de sua realização uma vertente de um afluente da média bacia do Rio Corumbataí, chamado por Ribeirão das Velhas, instalado no compartimento geomorfológico Depressão Periférica Paulista, Zona do Médio Tietê. Do ponto de vista político/administrativo, insere-se no município de Rio Claro, (SP) ao norte de seu sítio urbano, mais especificamente nas proximidades do Distrito de Ajapí. Justifica-se a

adoção desta unidade de análise haja vista os processos erosivos nesta existente, atingindo na média vertente o estágio de ravinamento.

## **O MÉTODO.**

A concepção teórica desta pesquisa baseou-se na *Teoria Geral dos Sistemas* aplicada à ciência geográfica, sobretudo no que concerne aos Sistemas Geomorfológicos. A tipologia dos sistemas, quanto ao critério funcional, podem ser diferenciados em *sistemas isolados*, *sistemas não-isolados* e *sistemas abertos*. Este último, o qual este trabalho adota, considerando a vertente como um sistema, é caracterizado por constantes trocas e fluxos de matéria e energia. Para Christofolletti (1974), os sistemas abertos são os mais comuns, exemplificando-os com a bacia hidrográfica, a vertente, o homem, a cidade, entre outros.

Chorley e Kennedy (1971) propuseram uma classificação estrutural e distinguiram onze tipos de sistemas. Entre estes, Christofolletti (1999), levando em consideração os mais relevantes para o campo da Geografia Física e da análise ambiental, sobretudo aos aspectos geomorfológicos, selecionou os quatro primeiros, sendo estes: sistemas morfológicos, sistemas em seqüência, sistemas processos-respostas e sistemas controlados.

Assim, Christofolletti (1999) chama atenção para, ao invés de se usar as denominações da complexidade da composição estrutural como sendo categorias de sistemas, conforme utilizados por Chorley e Kennedy (1971), utilizar esta nomenclatura para distinguir categorias no procedimento analítico:

Dessa maneira, realiza-se a análise morfológica de sistemas, a análise dos processos em sistemas e a análise da interação formas e processos em sistemas. Em consequência, a quarta categoria encontra-se relacionada com a avaliação dos sistemas e atividades de planejamento, delineando os procedimentos de interferência (CHRISTOFOLETTI 1999, p.7).

Visto isso, esta Pesquisa teve por finalidade a análise morfológica, a análise dos processos e a análise da interação formas e processos, no sistema vertente. Este, como um sistema aberto, em equilíbrio dinâmico, que vem sofrendo a interferência antrópica, alterando seus fluxos de matéria e energia, permite a implementação do quarto nível da análise, com a avaliação dos sistemas para fins de Planejamento.

Dessa forma, o sistema vertente pode ser analisado do ponto de vista morfológico, distinguindo, medindo e correlacionando as variáveis geométricas e as de composição (CHRISTOFOLETTI, 1974). As geométricas foram analisadas com as formas convexa, côncava, retilínea ou irregular da vertente, como também pelas classes de declividade.

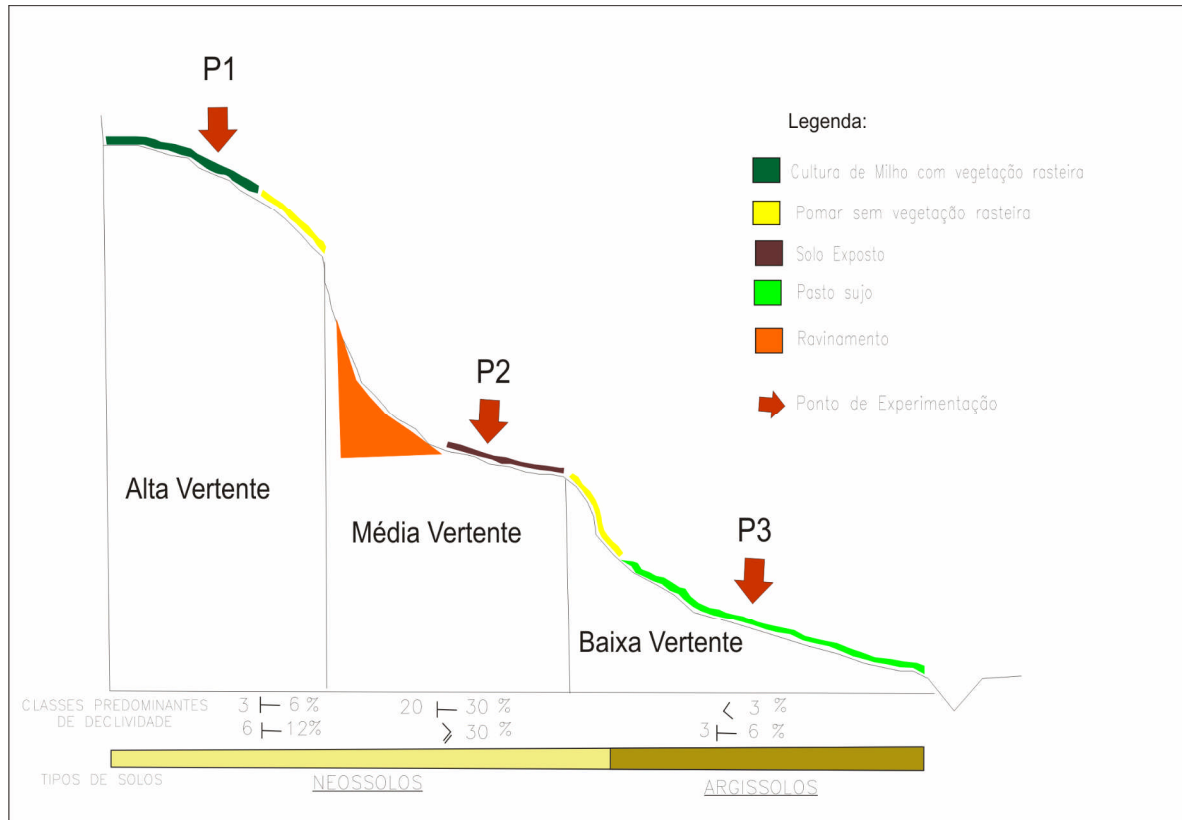
Já a vertente como um sistema em seqüência é atribuída em uma cadeia de subsistemas. O exemplo dado por Christofolletti (1974) da relação seqüencial entre os subsistemas atmosfera, vertente, lençol subterrâneo, vegetação, rios e mar, reflete a relação seqüencial dos fluxos de energia e matéria entre os subsistemas. O próprio sistema vertente possui subsistemas em seqüência, partindo do ponto de vista das trocas de energia e matéria entre a alta, média e baixa vertente.

O sistema processo-resposta identifica as relações entre os processos atuantes e as formas que destes resultam, assim como as relações das alterações nas formas afetando a maneira de realização dos processos. Bom exemplo pode ser compreendido pela diminuição da capacidade de infiltração, que é propriedade da forma, resultando na diminuição do processo de infiltração e no aumento do *runoff*, que proporciona a intensificação do processo denudativo inferindo no aumento do processo erosivo. Por conseguinte, o aumento do processo erosivo, diminui ainda mais a capacidade de infiltração, que aumenta o *runoff*, intensificando o processo denudativo. Trata-se, portanto de um efeito de retroalimentação positiva, “ocasionando uma ação de ‘bola de neve’ das alterações sempre no mesmo sentido da influencia original” (CHRISTOFOLETTI 1974, p.5).

Por fim, o sistema controlado condiz com as alterações exercidas pelo homem no sistema processo-resposta, alterando seus fluxos de matéria e energia, intervindo em leis próprias do sistema natural. A vertente aqui estudada representa um sistema controlado, haja vista a interferência antrópica a ela associada, sobretudo relacionada à retirada da cobertura vegetal para o estabelecimento de cultivo agrícola. Tal interferência resultou em perdas de solos significativas, gerando processos erosivos lineares, sobretudo na média vertente.

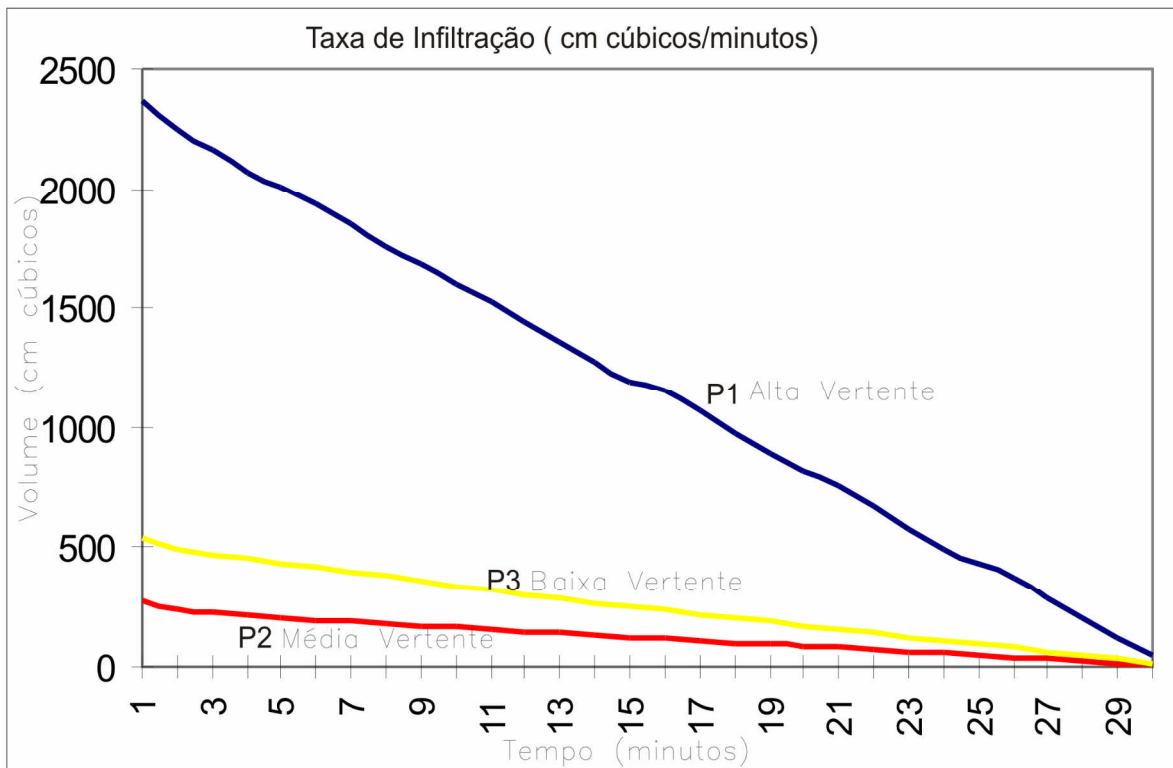
## **ANÁLISE DOS RESULTADOS.**

A vertente da margem direita da média bacia do “Ribeirão das Velhas” foi compartimentada de acordo com sua morfologia em três setores: alta vertente (convexa), média vertente (côncava) e baixa vertente (côncava-retilínea). Para cada compartimento foi realizado um experimento com o infiltrômetro de Hills (P1, P2 e P3), assim como analisado o uso da terra predominante, os tipos de solos e as classes predominantes de declividade, conforme ilustra figura 1.



**Figura 1:** Perfil da vertente da média bacia do Ribeirão das Velhas.

Os dados encontrados nos experimentos foram projetados no gráfico 1, representando a taxa de infiltração de cada ponto, ou seja, o volume em  $\text{cm}^3$  infiltrado por unidade de tempo (minutos). A partir do gráfico projetado, pode-se mensurar a capacidade de infiltração a partir do quociente da vazão de admissão de água constante em um determinado período de tempo pela área de seção do cilindro utilizado no experimento. Dessa forma, obteve-se a capacidade infiltração nos diferentes pontos selecionados onde se encontram diferentes usos da terra, tipos de solos e declividades.



**Gráfico 1:** Taxa de infiltração.

Na alta vertente, com classes reduzidas de declive (3 a 6% e 6 a 12%), a capacidade de infiltração mensurada atingiu o valor de **1,05 cm/min** para o uso agrícola da cultura do milho, sendo que o terreno apresenta uma quantidade elevada de vegetação rasteira. Neste ponto, no período de 30 minutos foram infiltrados 2370,7 cm<sup>3</sup>.

O solo registrado condiz com os neossolos, que abarcam solos anteriormente classificados como litólicos. São constituídos por material mineral ou por material orgânico, de pouca espessura com “pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário” (EMBRAPA, 1999, p.94). A granulometria do horizonte superficial registrou 5,325% de argila, 2,34% de silte, 31,66% de areia grossa e 60,66% de areia fina.

Já na média vertente, local onde se instala o ravinamento, com classes de declives mais acentuadas (20 a 30% e > 30%), a capacidade de infiltração decresceu significativamente para **0,1 cm/min**, sendo o terreno desprovido de qualquer cobertura vegetal. Foi infiltrado o total de 274,75 cm<sup>3</sup> de água em 30 minutos, sendo o solo pouco espesso, caracterizando-se



também como neossolo. A análise granulométrica do horizonte superficial registrou 10,9% de argila, 0,16% de silte, 33,02% de areia grossa e 55,85% de areia fina.

Na baixa vertente, com declives mais reduzidos (<3% e 3 a 6%), a cobertura vegetal se intensifica com a presença de um pasto sujo, assim como a capacidade de infiltração atingindo o valor de **0,205 cm/min**, com o total infiltrado de 541,65 cm<sup>3</sup> para o tempo de 30 minutos, registrando solos do tipo argissolos.

Na classe dos argissolos estão inseridos os solos anteriormente classificados, em sua grande maioria, como podzólicos, que se constituem de material mineral com argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E. “São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas” (EMBRAPA, 1999, p.83). Os índices granulométricos aferiram 11,1% de argila, 2,84% de silte, 35,55% de areia grossa e 50,50% de areia fina.

Têm-se dessa forma, na alta vertente, declives suaves com presença de vegetação rasteira gerando uma capacidade de infiltração elevada. Mesmo com solos pouco desenvolvidos, o que compromete a infiltração e, por conseguinte, o processo erosivo, registrou-se, nos índices granulométricos, baixa quantidade de argila (5,325%) e um número significativo de areia grossa (31,66%), auxiliando no processo de infiltração. Mesmo assim, os condicionantes fundamentais para o valor elevado da capacidade de infiltração estão associados à presença da cobertura vegetal e o declive suavizado.

Na média vertente, onde se registra o ravinamento, a capacidade de infiltração atingiu valores extremamente reduzidos (0,1 cm/min), sobretudo devido à tipologia dos solos, associados aos neossolos, bem como os valores elevados de declividade e a retirada da vegetação, com o solo exposto. Os neossolos são pouco desenvolvidos, de pequena espessura, registrando nas amostras superficiais da média vertente, índices granulométricos de argila (10,9%) e areia fina (55,85%) mais elevados que na alta vertente. Dessa forma a argila contribuiu para a impermeabilização do solo, enquanto a areia fina demonstra potencial favorável ao seu fácil deslocamento, auxiliando o processo erosivo. Já as classes elevadas de declividade (20 a 30% e > 30%), como o desprovimento da cobertura vegetal, dinamizam o *runoff*, intensificando o processo erosivo.

A baixa vertente ficou caracterizada pela redução de declives (<3% e 3 a 6%), aumento da cobertura vegetal e relativo aumento da capacidade de infiltração (205 cm/min), visto que sofre diretamente a influência da proximidade do canal de drenagem, deixando o solo mais úmido. O solo, embora classificado como de alta fragilidade erosiva, dada às diferenças texturais entre seus horizontes A e B, como também aos valores significativos de areia fina no horizonte superficial, não apresentam registros de processos erosivos atuantes, dada a cobertura de pasto sujo, bem como declives suavizados aumentando a capacidade de infiltração.

Dessa forma, os valores encontrados na experimentação, somados aos de gabinete, laboratório e as observações de campo, refletiram no modelo proposto por Christofolletti (1974), quando a retirada da cobertura vegetal reduz a capacidade de infiltração, aumentando o escoamento superficial, o que interfere diretamente no aumento do processo erosivo. Somam-se a cobertura vegetal, na contribuição para a redução da capacidade de infiltração, a inclinação das vertentes, como também solos pouco desenvolvidos, com pequena expressão de processos pedogenéticos e de alta concentração de areia fina.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS.**

A vertente como categoria de análise pode ser considerada como um sistema. O arcabouço teórico da *Teoria geral dos Sistemas* permite compreender a existência de fluxos de matéria e energia que regulam o sistema, gerando certa estabilidade ou um equilíbrio dinâmico deste sistema. No entanto, o sistema antrópico, que apresenta escala e tempo diferenciado do sistema natural, intervem na regulação dos fluxos de matéria e energia, modificando leis próprias da natureza.

Bom exemplo pode ser compreendido pela retirada da cobertura vegetal, associada aos setores declivosos, bem como a solos de alta fragilidade aos processos erosivos, influenciando no processo de infiltração de água no sistema vertente. Trata-se, portanto de circuito de retroalimentação positiva, marcado, sobretudo na média vertente do Ribeirão das Velhas, onde a retirada da cobertura vegetal, classes elevadas de declive e solos pouco desenvolvidos com pequena expressão dos processos pedogenéticos, reduzem a capacidade de infiltração, que aumenta o escoamento superficial, que aumenta o processo erosivo, que vem a diminuir a capacidade de infiltração. Representa-se assim, o que Christofolletti (1974) denominou de efeito “bola de neve”.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do relevo.** São Paulo: Editora Contexto, 1991.
- CHORLEY, R. Modelos em Geomorfologia. In: CHORLEY, R.J.; HAGGETT, P. **Modelos Físicos e de Informação** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1975.**em Geografia.**
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1974.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia.** São Paulo: HUI TEC, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.
- COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- GARCEZ, L.N. **Hidrologia.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2º edição, 2002.
- GUERRA, A. J. T Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.
- GUERRA, A.J.T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- HORTON, R.E. The role of infiltration in the hidrological cycle. **Trans.Am.Geophys**, 14, 446-460, 1933.
- IAC, INSTUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Carta Pedológica Semi-Detalha do Estado de São Paulo:** Folha de Piracicaba (SF.23-Y-A-IV), escala 1:100.000, 1989.
- MAFRA, N.M.C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, J.T; SILVA,A.S; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- MATTOS, S.H.V.L. de; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia.** Goiânia, ano 5, n.1, p.11-18, 2004.