

## Mapeamento das Áreas Suscetíveis às Enxurradas na Bacia do Córrego Taboão, Município de São Paulo

Eduardo Tomio Nakamura<sup>1</sup>  
Sidneide Manfredini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> - Laboratório de Pedologia, Departamento de Geografia, FFLCH-USP  
Av. Prof. Lineu Prestes, 338 – Cidade Universitária, SP CEP: 05508-900  
Telefone/ Fax: (011) 3091-3794  
Email: [laboped@edu.usp.br](mailto:laboped@edu.usp.br)

**Abstract.** The impermeable areas due to urbanization process has increased the runoff intensity, resulting in floods and water torrent. From landscape functionality, a data integration has been executed with surfaces morphology, slopes and land uses maps. The result is a runoff susceptible area map, qualified in a numerical scale between 0 until 1. Identifying the most susceptible areas can contribute to land use planning and management by reducing the impacts of urbanization.

**Palavras-chave:** Geographic Information Systems, runoff, land use planning, Sistemas de Informação Geográfica, escoamento superficial, planejamento do uso do solo.

### 1. Introdução

O planejamento, administração, legislação e fiscalização, necessários ao ordenamento da apropriação do espaço durante o processo de urbanização, requerem um conhecimento das relações funcionais dos diferentes elementos da paisagem natural.

As diferentes formas de ocupação interferem no escoamento superficial, principalmente, através da impermeabilização do solo por edificações e pavimentação de ruas, aumentando o excedente de água em superfície e a conseqüente intensificação do escoamento superficial concentrado.

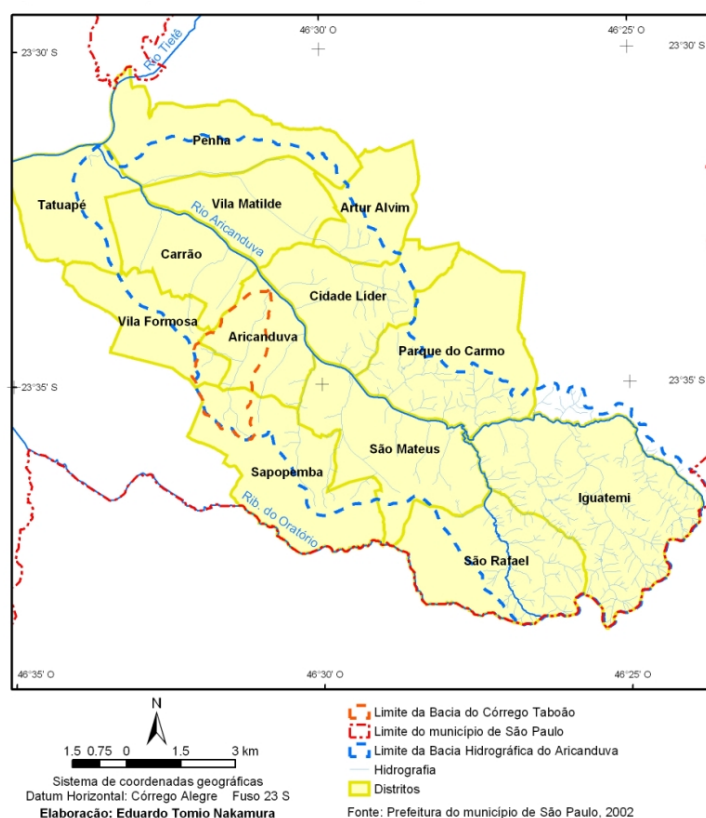
A bacia do Rio Aricanduva, alvo de sucessivas intervenções nas últimas décadas, ainda permanece como um dos pontos mais críticos de inundação do Município de São Paulo. Como área de estudo foi selecionada a sub-bacia do Córrego Taboão, que deságua no Rio Aricanduva dentro da mancha de inundação recorrente. Sua ocupação se deu através de loteamentos regulares, submetidos, portanto, à aprovação do poder público e que, no entanto, se caracterizam por elevado índice de impermeabilização do solo.

Através da utilização de escalas grandes nos mapeamentos cartográficos e temáticos (entre 1: 5.000 e 1: 15.000), procurou-se realizar um mapeamento das áreas suscetíveis às enxurradas, identificando as feições condicionantes dos processos de escoamento superficial dentro da bacia do Córrego Taboão e permitindo avaliar o impacto da urbanização sobre a dinâmica hídrica de superfície na área de estudo, fatores importantes para a ocorrência das cheias no Rio Aricanduva.

### 2. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Córrego Taboão (**Figura 01**) localiza-se nos distritos do Aricanduva, Sapopemba e Vila Formosa, Zona Leste do Município de São Paulo (SP). Situa-se no médio vale e na margem esquerda do Rio Aricanduva, sendo um de seus principais afluentes. Com uma área de drenagem de 5,38 km<sup>2</sup>, a Bacia do Córrego Taboão caracteriza-se por planícies, terraços e colinas suaves entre as altitudes de 800m (topo) e 735m (foz). O período de chuva mais intenso vai de dezembro a fevereiro, quando a média mensal acumulada ultrapassa 190 mm e um total anual de cerca de 1400 mm.

O processo de urbanização desta região foi intensificado com as obras de canalização e implantação da avenida de fundo de vale ao longo do rio Aricanduva verificadas nas décadas de 60 a 70. Grande parte da ocupação, que na década de 80 já estava consolidada, é caracterizada por residências horizontais de médio a baixo padrão nas partes do médio para o alto vale da Bacia do Córrego Taboão, e residências horizontais de médio a alto padrão na parte do baixo vale da bacia. A partir da década de 80, as margens do córrego Taboão foram rapidamente ocupadas por construções irregulares. No baixo vale do Córrego Taboão, concentram-se a maior parte das indústrias, armazéns e comércios, que integram o principal eixo comercial da Bacia do Rio Aricanduva.



**Figura 01:** Localização da área de estudo na Bacia Hidrográfica do Rio Aricanduva, município de São Paulo.

### 3. Metodologia

Cavalheiro (1995), analisando as alterações ambientais devidas ao processo de urbanização, coloca que “é na paisagem alterada que se deve ir buscar, estudar, analisar e prognosticar as degradações e impactos ambientais”, de maneira que contribua com o ordenamento do solo urbano e na sua relação com o suporte do ecossistema das áreas urbanas.

O mapeamento da suscetibilidade às enxurradas (carta síntese) tem como pressuposto as características físicas e antrópicas dos elementos que compõem e contribuem no processo de escoamento superficial concentrado. Em condições naturais, podemos dizer que os principais agentes ativos no sistema do fluxo hídrico superficial em uma bacia hidrográfica são os elementos que compõem a paisagem natural. Alguns desses exemplos podem-se citar: o clima, através da precipitação, temperatura e evaporação; os solos, que interferem através da estrutura, porosidade e a consistência dos agregados; o relevo, através da morfologia e declividade das vertentes; a vegetação, com sua capacidade de interceptação das águas pluviais e evapotranspiração; geologia, através das características do substrato rochoso.

Soma-se a essa situação as interferências antrópicas causadas pelo homem e sua ocupação, que vão adicionar novos elementos ao sistema, através da impermeabilização do solo, a intensidade e tamanho das formas de ocupação e o uso de cada elemento urbano. Dessa forma, bacias hidrográficas urbanas, deixam de ter seus fluxos hídricos superficiais apenas no domínio das condições naturais, e passam a ter domínio das condições urbanas que vão alterar esse sistema através das interferências antrópicas e de suas obras.

Com base nesses pressupostos, as áreas mais suscetíveis ao *escoamento superficial concentrado*, ou *enxurradas*, foram identificadas utilizando-se de parâmetros do relevo, morfologia e declividades da vertente, e do uso e ocupação do solo em suas diferentes formas de ocupação. Através dos elementos integrados no mesmo espaço, com base nessa funcionalidade da paisagem, as áreas mais suscetíveis às enxurradas estão representados numa escala de 0 a 1 obtendo-se dados qualitativos para cada setor da bacia hidrográfica.

Essa carta tem como fundamento teórico as preposições da cartografia de síntese (Martinelli e Pedrotti, 2001), muito utilizadas no mapeamento de unidades de paisagem, que propõe uma cartografia de “reintegração, de reconstrução do todo”, ao contrário de obter representações da realidade apenas de forma analítica e fragmentada.

A partir do mapeamento da morfologia de vertentes, obtivemos os *domínios hidrodinâmicos de superfície* (Colângelo, 1996), os quais seriam as principais unidades de dispersão radial dos fluxos hídricos, com progressivo aumento da superfície de escoamento à jusante. Vertentes côncavas concentram um maior volume de água, propiciando a saturação do solo e vertentes convexas atuam como áreas dispersoras de água. Através desses preceitos da importância da morfologia de vertente na contribuição do escoamento superficial, atribuímos uma classificação qualitativa para cada forma, sendo os valores mais altos para aquelas que possuem maior potencialidade para concentração e valores mais baixos para aquelas que possuem maior potencialidade para dispersão.

Em seguida, obtém-se as diferentes formas que ocupam os interiores de cada área de *domínio hidrodinâmico de superfície*, e sua forma de vertente, os quais interfeririam diretamente no escoamento superficial. Esses elementos são compostos pela declividade e pelas formas de ocupação, que foram classificados qualitativamente conforme suas características em relação aos processos de fluxos hídricos de superfície.

Colângelo (1993), coloca que no armazenamento em depressão, a água contida no terreno deverá transbordar e produzir o fluxo superficial ou escoamento direto. “Sua capacidade média aumenta conforme diminui a declividade, estabelecendo-se entre ambas variáveis uma curva de tendência com uma forte inflexão no limiar de declividade de 2%. Por baixo deste, a capacidade de armazenamento chega a triplicar-se. Pelo contrário, o armazenamento é muito pouco significativo (menor que 0,4 mm) em terrenos com declividades entre 5 –15%, normalmente toleráveis pelas urbanizações convencionais e áreas de lazer”.

A impermeabilização do solo causa um aceleração do escoamento, em alguns casos, da ordem de 300 a 400 % (FCTH, 1999), uma vez que as áreas permeáveis para a infiltração da água, ou retenção através da rugosidade do terreno são diminuídas. Mas, as formas de ocupação também vão ter peculiaridades no impacto ao escoamento superficial, como conectividade entre as áreas impermeáveis e permeáveis e a topografia urbana dada pelos aterros e cortes são alguns exemplos. Baseando-se nos valores de *coeficiente de escoamento superficial* (CN ou número de curva) adotados pelo *Soil Conservation Service* (FCTH, 1999), e, considerando as condições de umidade II e Grupo Hidrológico de Solo do tipo D, obtivemos os graus de escoamento nas diferentes superfícies do uso do solo.

Após qualificar cada característica da morfologia de vertente, da declividade e do uso e ocupação do solo, utilizamos o conceito de dispersão dos fluxos hídricos para possibilitar a ponderação de cada variável ambiental no processo de escoamento superficial: Em primeiro, identificamos o elemento que se relaciona à *dispersão radial* dos fluxos hídricos, que estaria vinculada principalmente à topografia e a morfologia de vertente, assim, atribuindo-se um grau de importância maior para este elemento. Em segundo, os elementos referentes à *dispersão longitudinal*, representado pela declividade e pelas formas de uso e ocupação que interferem na aceleração do escoamento superficial.

Buscou-se dessa forma, uma classificação qualitativa dos fluxos hídricos superficiais os quais os elementos da morfologia de vertente receberam um grau de importância maior, por comandarem os processos de dispersão e concentração das águas pluviais, e em seguida, a declividade e o uso do solo, com graus de importância equivalentes, interferindo na aceleração do escoamento superficial em cada setor morfológico de vertente.

A partir desses conceitos estabelecidos, utilizamos o programa *Spring 4.2* para definir os relacionamentos e seus respectivos pesos para cada variável, resultando em uma carta-síntese

onde a soma dos 3 elementos básicos com seus respectivos pesos e relacionamentos, representam uma unidade em que expressem a suscetibilidade daquela área ao escoamento superficial concentrado, em uma escala de 0 a 1.

A técnica utilizada para estabelecer a contribuição relativa entre as variáveis, é conhecida como *AHP* (*Processo Analítico Hierárquico*), que se baseia na *lógica de comparação pareada* proposto por Saaty (INPE, 2003), a qual os contribuintes são comparados dois a dois em um escala pré-definida.

Na técnica *AHP* utiliza-se os dados no formato matricial, dando-lhe importâncias numéricas para cada setor do espaço, representado por *pixels*. Assim, as informações dos atributos de cada variável são transformadas em formas numéricas na escala de 0 a 1. A combinação numérica da característica de cada variável em um determinado espaço é realizada através de média ponderada ou inferência *fuzzy*, e dessa forma, obtém-se eventos contínuos com a variação do resultado pela área analisada.

Na classificação qualitativa das variáveis, baseando-se na bibliografia revisada, os agrupamentos realizados, conforme os objetivos da síntese geográfica e da finalidade do estudo, obtivemos os seguintes pesos e qualidades para cada variável, ordenados na escala de 0 a 1 (**Tabela 01**):

**Tabela 01-** Contribuição relativa de cada variável para o processo de síntese e classificação qualitativa dos atributos

a) Morfologia de vertente. b) Domínio Hidrodinâmico (Peso 0,50)		Declividade (Peso 0,25)		Uso do Solo.	Número de Curva -CN (Peso 0,25)	
a) Vertente convexa. Topos e Patamares. b) Dispersão	0,25	< 2 %	0,083	Horticultura; Reservatório de Retenção	78	0,2
		2 - 5%	0,25	Cobertura Arbórea	79	0,24
a) Vertente retilínea. b) Transição (neutro)	0,5	5 - 12 %	0,5	Cobertura gramíneas; Praças e Áreas Verdes	80	0,28
				Vias sem Pavimentação	89	0,64
				Grandes Comércio/ Serviços; Equipamentos Urbanos; Construções Verticalizadas	92	0,76
a) Vertentes Côncavas; Vias orientadas à vertente. b) Concentração	0,75	12 - 30 %	0,75	Indústrias/ Armazéns	93	0,8
a) Planície Fluvial. b) Hiperconcentração	1	> 30 %	1	Solo Exposto	94	0,84
				Residencial/ Comercial; Favelas	95	0,88
				Solo Impermeabilizado; Subestação de Energia; Vias Pavimentadas	98	1

Org.: Eduardo T. Nakamura, 2006.

A partir dos valores qualitativos estabelecidos, a técnica *AHP*, que usa o método de inferência espacial *fuzzy ponderado*, organizou a seguinte equação (1) para realizar a determinação do valor numérico para o resultado da carta-síntese:

$$x = 0.250*(declividade) + 0.500*(morfologia) + 0.250*(uso do solo) \quad (1)$$

O resultado gera uma *grade regular numérica (GRID)* de formato matricial no qual a soma das variáveis, conforme suas ponderações, vão definir o novo valor para cada *pixel* que, dentro da escala de 0 a 1, irá representar o grau de suscetibilidade ao escoamento superficial concentrado daquele setor. Para efeito de controle da precisão cartográfica da carta-síntese, utilizamos uma resolução espacial do *pixel* de 2x2 m.

Devemos colocar as limitações definidas nesta aplicação às escalas grandes de trabalho que considerem os elementos locais de áreas urbanizadas como os principais agentes. Em casos de escalas menores, que abranjam áreas maiores, de diversos tipos de paisagem, assim como solos, relevo, litologia, clima e usos diversos, devem ter suas representações também classificadas na escala de 0 a 1, e assim também serem adicionados como contribuintes no processo dessa representação de síntese.

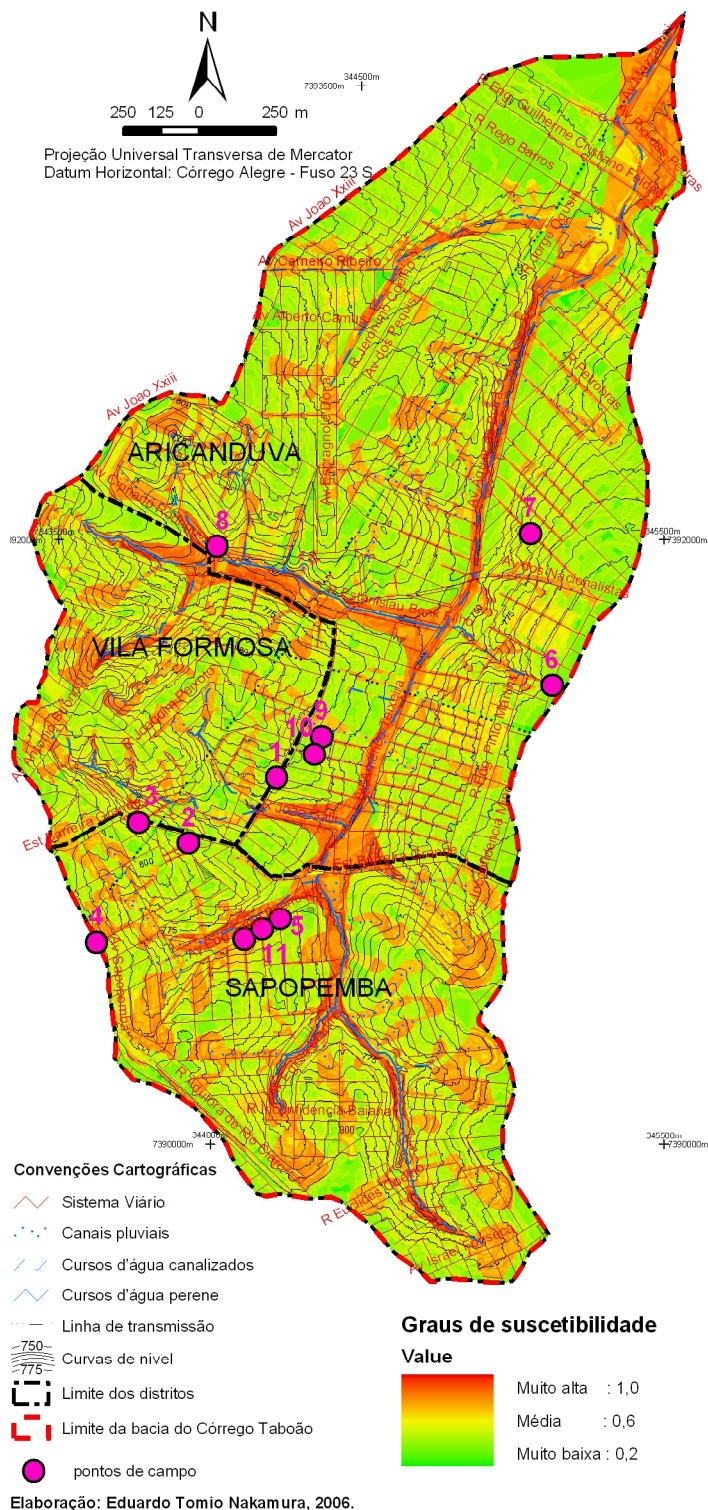
#### 4. Resultados e Discussões

O mapeamento das áreas suscetíveis às enxurradas (**Figura 02**), possibilitou a integração de elementos da paisagem através da representação de síntese, auxiliando o processo de análise da bacia hidrográfica em seus processos atuais de fluxos hídricos superficiais. O resultado mostra as áreas mais suscetíveis às enxurradas, indicando, numa escala de 0 a 1, os locais menor e maior potencialidade respectivamente.

Para valores nos intervalos de 0,25 a 0,4075, consideramos como de baixa potencialidade para a concentração de fluxos hídricos superficiais, pois estes locais estão associados, predominantemente, a domínios hidrodinâmicos dispersores (vertentes convexas, topos e patamares), declividades menores que 5 % e uma ocupação em que o *CN* está acima de 80.

Intervalos de 0,4075 a 0,60, podem-se considerar como de média potencialidade, estando associados, predominantemente, a domínios hidrodinâmicos dispersores (vertentes convexas, topos e patamares) ou de transição, declividades de 5 a 12 % e uma ocupação em que o *CN* está acima de 87.

Locais de alta potencialidade à formação de enxurradas, com valores numéricos entre 0,60 a 0,80, estão associadas, predominantemente, a domínios hidrodinâmicos concentradores (vertentes côncavas e vias



**Figura 2:** Mapeamento das Áreas suscetíveis à enxurradas na Bacia do Córrego Taboão

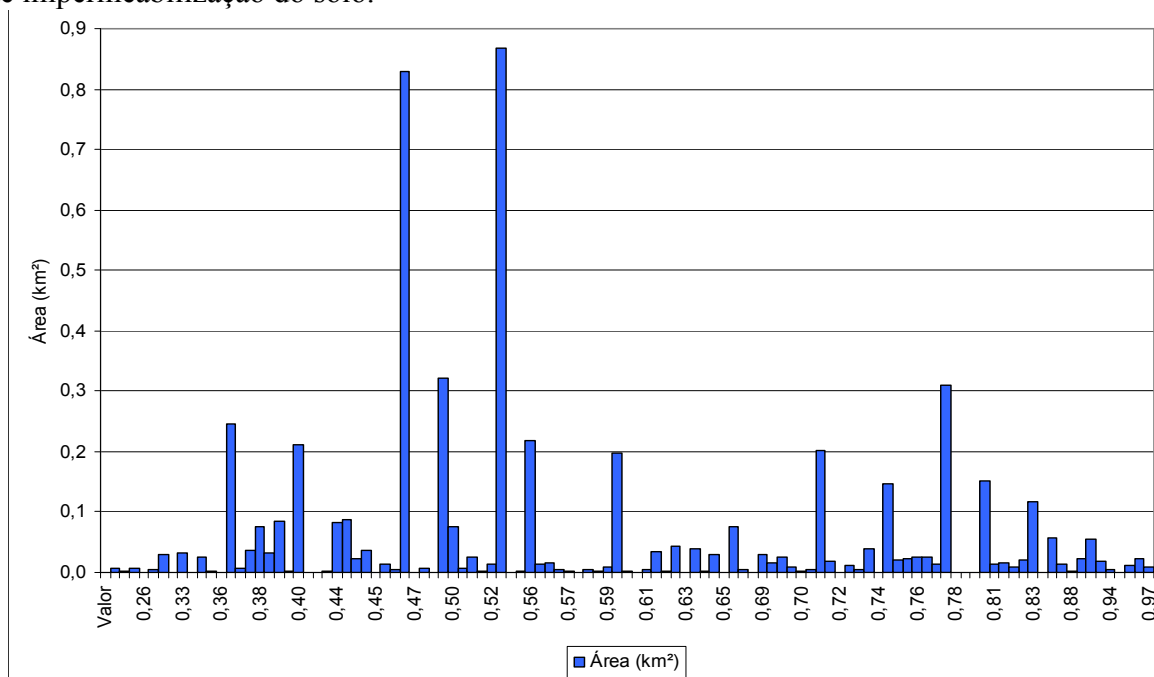
orientadas à vertente.), declividades de 12 a 30 % e uma ocupação em que o *CN* está acima de 87.

As áreas mais suscetíveis ao escoamento superficial concentrado, são aquelas que apresentaram valor numérico maior que 0,80, estando associados aos domínios hidrodinâmicos hiperconcentradores, relacionadas às planícies fluviais, e declividades maiores que 30 % e uma ocupação em que o *CN* encontra-se acima de 87.

A **Figura 3** demonstra a área total das ocorrências das áreas suscetíveis às enxurradas. Verifica-se a predominância de áreas caracterizadas pela média potencialidade para a formação de enxurradas.

As situações de maior suscetibilidade para esta formação de enxurradas na área de estudo, se encontram nos locais onde há um domínio hidrodinâmico de concentração de fluxos hídricos e agravados conforme a crescente declividade e ao aumento do grau de impermeabilização do solo, uma vez que concentram os fluxos hídricos provindo das outras formas de vertentes.

As áreas de domínio hidrodinâmico de dispersão são aquelas onde as águas seriam dispersas radialmente em direção à jusante, que poderão contribuir para o aceleração do escoamento superficial das águas pluviais na vertente, conforme a crescente declividade e também o grau de impermeabilização do solo.



**Figura 3:** Área das classes suscetíveis às enxurradas na área de estudo. Org.: Eduardo T. Nakamura, 2006.

Os resultados quantitativos das representações de cada área, conforme o domínio hidrodinâmico e suas características, demonstram que o relevo da bacia hidrográfica possui características predominantes de áreas dispersoras de fluxo hídrico superficial, com uma área total de 3,61 km<sup>2</sup> (66,94 % da bacia), visto que as unidades concentradoras e de transição possuem representação de 1,62 km<sup>2</sup> (30,14 %) e 0,16 km<sup>2</sup> (2,94 %) respectivamente.

Dentro da bacia hidrográfica do Córrego Taboão, verifica-se que é uma unidade onde os processos de aceleração do escoamento superficial, em áreas dispersoras, e de suscetibilidade às enxurradas, em áreas de concentração de fluxos hídricos, são intensificadas principalmente pelos processos de impermeabilização do solo e seus tipos de uso do solo, visto o número de curva médio (*CN*) para a bacia de 94,503. A predominância de áreas residenciais (57,3%) e da grande representatividade das vias pavimentadas (22,2%) dentro da área de estudo mostra

que, quando transformados em seus respectivos *CN*, 95 e 98 respectivamente, demonstram características de alta suscetibilidade ao escoamento superficial direto (chuva excedente).

A declividade passa a ter expressão apenas em casos locais na aceleração do escoamento superficial, aonde as vertentes chegam a ter > 30 % de inclinação, enquanto que na bacia as declividades predominantes são de 5 - 12 % e 12 - 30 %, que correspondem 35,89 % e 36,46 %, respectivamente, da área total.

Um dos indicativos que utilizamos para a verificação dos impactos da urbanização nos processos de escoamento superficial concentrado foi a deterioração do asfalto em locais onde as vias pavimentadas possuem sua face com a mesma orientação da vertente.

Verifica-se que a introdução de vias pavimentadas na mesma direção das vertentes favorece o processo de formação de enxurradas, formando setores de concentração de fluxos hídricos, mesmo estando em um conjunto de vertentes convexas. As **Figuras 04 e 05** demonstram a deterioração do asfalto devido a este processo, onde as águas pluviais seguem à jusante, por gravidade, em direção as partes mais baixas da vertente, aceleradas e intensificadas pela declividade e pela impermeabilização do solo. As bocas de lobo, que geralmente se encontram apenas nas áreas de depressão, não suportam a quantidade de água trazida na enxurrada, que, somada a falta de manutenção e ao acúmulo de lixo, formam a lâmina d'água excedente e o refluxo de água.



**Figura 04:** Ponto 9. Asfalto deteriorado, com trincas, devido a intensidade do escoamento superficial. Eduardo T. Nakamura, Fev/2006.

**Figura 05:** Ponto 6. O conjunto formado pelos elementos urbanos, edificações, calçadas em aclive e vias pavimentadas, formam verdadeiras calhas para a concentração águas pluviais. Eduardo T. Nakamura, Jan/2006.

A verificação desses pontos em campo foi de grande importância para que a carta-síntese, das áreas suscetíveis à formação de enxurradas, pudesse ter os pesos de cada atributo ambiental estabelecido, e dessa forma, tentar estabelecer os parâmetros qualitativos mais próximos das situações verificadas em campo.

## 5. Conclusões

A partir dos resultados colocados, podemos destacar que a análise integrada entre os elementos geográficos pode revelar no espaço importantes eventos dados pela funcionalidade paisagem e, dessa maneira, subsidiar a tomada de decisões mais coerentes com a realidade local junto ao planejamento urbano da região.

Os processos de escoamento superficial concentrado podem ser controlados a partir dos locais onde apresentam características de maior suscetibilidade, identificadas através desse processo de síntese. Melhorias na distribuição das galerias pluviais e drenagem urbana, bem como aumento de espaços de áreas verdes em áreas de maior suscetibilidade, podem contribuir para a diminuição das enxurradas e com o controle de enchentes no Rio Aricanduva.

## 6. Bibliografia

Câmara, G.; Barbosa, C.; Moreira, F.; Almeida, R.; Bönisch, S. Técnicas de inferência geográfica. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2003. 1 CD-ROM.

Canholi, Aluísio P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

Cavalheiro, F. Urbanização e alterações ambientais. In: TAUKE, S.M. (Org.) **Análise Ambiental: uma visão multidisciplinar**. 2 ed. São Paulo: UNESP, 1995. p.114-124.

Colângelo, A. C. Processos de Escoamento Superficial em Áreas Urbanas: Caracterização e Modelos Aplicados a Cidades Mediterrâneas Espanholas. In: V SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1993, São Paulo. **Anais do V Simpósio de Geografia Física Aplicada**. São Paulo, p.73-79,1993.

Colângelo, A. C. O modelo de Feições Mínimas, ou das Unidades Elementares de Relevo: Um Suporte Cartográfico para Mapeamentos Geocológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH-USP, São Paulo, n.10, p.29-40, 1996.

FCTH – Fundação Centro Tecnológica de Hidráulica. **Diretrizes Básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf> . Acesso em 20/12/2005.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING – Sistema de processamento de informações geográficas**. São José dos Campos, 2003.

Martinelli, Marcelo; Pedrotti, Franco. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH-USP, São Paulo, n. 14, p. 39-46, 2001.