



## URBANIZAÇÃO E ALTERAÇÕES MORFOMÉTRICAS E HIDROLÓGICAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DOS PIRES, JAÚ, SÃO PAULO

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral determinar e analisar as características morfométricas e hidrológicas, bem como as alterações oriundas da urbanização sem planejamento em uma pequena bacia hidrográfica localizada no município de Jaú no estado de São Paulo. O trabalho foi realizado a partir da simulação de três cenários da bacia em estudo, com a análise de dados digitais e com visitas a campo. O primeiro cenário foi baseado na bacia em suas condições naturais e o segundo cenário foi estabelecido conforme a situação atual, no qual cerca de 50% da área da bacia possui um grau de impermeabilização superior a 68%, com parcelamento intensivo do solo e alta densidade de construções. O terceiro cenário foi elaborado a partir da tendência histórica deste modelo de urbanização e impermeabilização do solo nas áreas de expansão urbana previstas no plano diretor. Os resultados indicaram que entre os cenários "Natural" e "Atual" não ocorreram modificações morfométricas significativas que justificassem as alterações hidrológicas constatadas, apesar das variações encontradas no divisor de águas e na área total da bacia. Considerando-se as chuvas críticas, com períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos, as vazões máximas e os volumes totais escoados cresceram 10% entre os cenários "Natural" e "Atual" e estimou-se um crescimento de 15% para estas variáveis entre os cenários "Atual" e "Tendencial", caso o modelo de crescimento da cidade seja mantido, principalmente no que diz respeito aos padrões atuais de impermeabilização do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacia Hidrográfica; Impermeabilização do Solo; Escoamento Superficial; Vazões.

## URBANIZATION AND MORPHOMETRIC AND HYDROLOGICAL CHANGES IN THE WATERSHED OF CÓRREGO DOS PIRES, JAÚ, SÃO PAULO

### ABSTRACT

This paper aimed to determine and analysis the morphometric and hydrological characteristics, as well as the modifications caused by the urbanization without planning of a small watershed localized in the town of Jaú, São Paulo estate. The work was done through a simulation of three scenarios of the watershed in study, with analysis of the digital data and visits to the field. The first scenario was made based on the natural watershed conditions, the second scenario was made according the current conditions of the watershed, where approximated 50% of the watershed area has a soil sealing degree superior to 68%, plus the intensive soil parceling and the high density of the constructions. The third scenario was elaborated through the historical tendency of this model of urbanization and soil sealing in the areas of urban expansion planned in the municipal master plan of Jaú city. The results indicated that among the "Natural" and "Current" scenarios there were enough morphometric changes to justify the hydrological alterations observed, despite the variations in the watershed divide and the watershed area. Considering the critical rainfall with return periods of 10, 25, 50 and 100 years, the maximum flow and the total volumes disposed grew 10% in the period between the "Natural" and "Current" scenarios and was estimated a 15% growth for these variables between the "Current" and "Trend" scenarios, if the model of growth of the city is maintained, mainly on the patterns of the soil sealing.

**KEYWORDS:** Watershed; Soil Sealing; Runoff; Flows.

*Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.3, n.2, Jun, Jul, Ago, Set, Out, Nov 2012.*

ISSN 2179-6858

SEÇÃO: Artigos

TEMA: Recursos Hídricos



DOI: 10.6008/ESS2179-6858.2012.002.0004

**Rudmir Rogerio de Camargo Faxina**

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0200245267791270>  
[roqcamargo@gmail.com](mailto:roqcamargo@gmail.com)

**Jozrael Henriques Rezende**

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4418756295562718>  
[jozrael.rezende@fatec.sp.gov.br](mailto:jozrael.rezende@fatec.sp.gov.br)

**José Carlos Toledo Veniziani Júnior**

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2134547751569719>  
[jose.veniziani@fatec.sp.gov.br](mailto:jose.veniziani@fatec.sp.gov.br)

**Paulo Fernando Ferreira de Azevedo**

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7450192291987112>  
[paulofernanado\\_azevedo@hotmail.com](mailto:paulofernanado_azevedo@hotmail.com)

Recebido: 06/06/2012

Aprovado: 29/06/2012

Avaliado anonimamente em processo de pares cegas.

*Referenciar assim:*

FAXINA, R. R. C.; REZENDE, J. H.; VENIZIANI JÚNIOR, J. C. T.; AZEVEDO, P. F. F..  
*Urbanização e alterações morfométricas e hidrológicas na bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, Jaú, São Paulo. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.3, n.2, p.57-72, 2012.*

## INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização das cidades brasileiras, via de regra, prescindem de um planejamento territorial adequado em diversos aspectos, inclusive do que diz respeito ao manejo das águas pluviais, ao escoamento superficial e aos modelos de ocupação de fundos de vales. Normalmente quanto maior o porte da cidade, mais problemas, pois, o crescimento desordenado e o elevado grau de impermeabilização do solo nas bacias hidrográficas urbanas, acarreta vários impactos socioambientais, como as enchentes decorrentes.

Esta constatação justifica a necessidade de uma abordagem que considere as bacias hidrográficas urbanas e em processo de urbanização como unidades básicas para o manejo das águas pluviais nas cidades.

Bacia hidrográfica é conceituada como toda área que contribui com o escoamento por gravidade para os rios. Esta área é definida pelo relevo do terreno e pela extensão do rio principal. Seu contorno é limitado pelas partes mais altas do relevo, chamada de divisor de águas (TUCCI et al., 2006).

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema composto por um conjunto de vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos de água, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas os volumes evapotranspirados e também os infiltrados (TUCCI, 2000).

O comportamento do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica depende de vários fatores tais como: sua forma, tamanho área, relevo, tipo e usos dos solos, cobertura vegetal remanescente, rede de drenagem, entre outros (LIMA, 1986). Outra característica importante de uma bacia hidrográfica é a declividade dos terrenos, pois ela é um dos fatores que determinam a velocidade com que se dá o escoamento superficial. Quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido será o escoamento superficial, o tempo de concentração será menor e os picos de enchentes maiores (VILLELA; MATTOS, 1975).

O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio. Muitas dessas características físicas da bacia hidrográfica, por sua vez, são, em grande parte, controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica. Para investigar as características das diversas formas de relevo, as bacias hidrográficas se configuram como feições importantes, principalmente no que se refere aos estudos de evolução do modelado da superfície terrestre (TONELLO, 2005).

Ainda segundo esses autores as características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois, ao se estabelecerem relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais faltem dados.

Christofolletti (1980) ressaltou ainda que a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à

dinâmica ambiental local. O aumento na frequência de alguns impactos indesejados pela sociedade, como inundações, erosões e diminuição da qualidade da água, ocorrem com o desmatamento e o progresso do desenvolvimento urbano; impactos estes, causados pelo aumento do escoamento superficial (TUCCI et al., 2000).

Os efeitos hidrológicos dos desmatamentos nas bacias hidrográficas são semelhantes às consequências da impermeabilização do solo em alguns aspectos. Na época das chuvas a menor interceptação da precipitação devido à redução da cobertura vegetal acarreta um maior escoamento superficial, aumentando o fluxo fluvial. Este aumento do fluxo fluvial durante o período de cheias diminui o armazenamento subsuperficial e subterrâneo da água na bacia ocasionando à diminuição das vazões mínimas durante a estiagem (REZENDE, 2009).

A mudança na superfície terrestre aumenta o fluxo de escoamento superficial, pois não há percolação para os depósitos subterrâneos, provocando enchentes e erosões com carreamento de resíduos sólidos. Além disso, a diminuição da recarga dos depósitos subterrâneos pode ter consequências graves em regiões bem distantes do local de afloramento das águas (RUTKOWSKI, 2000).

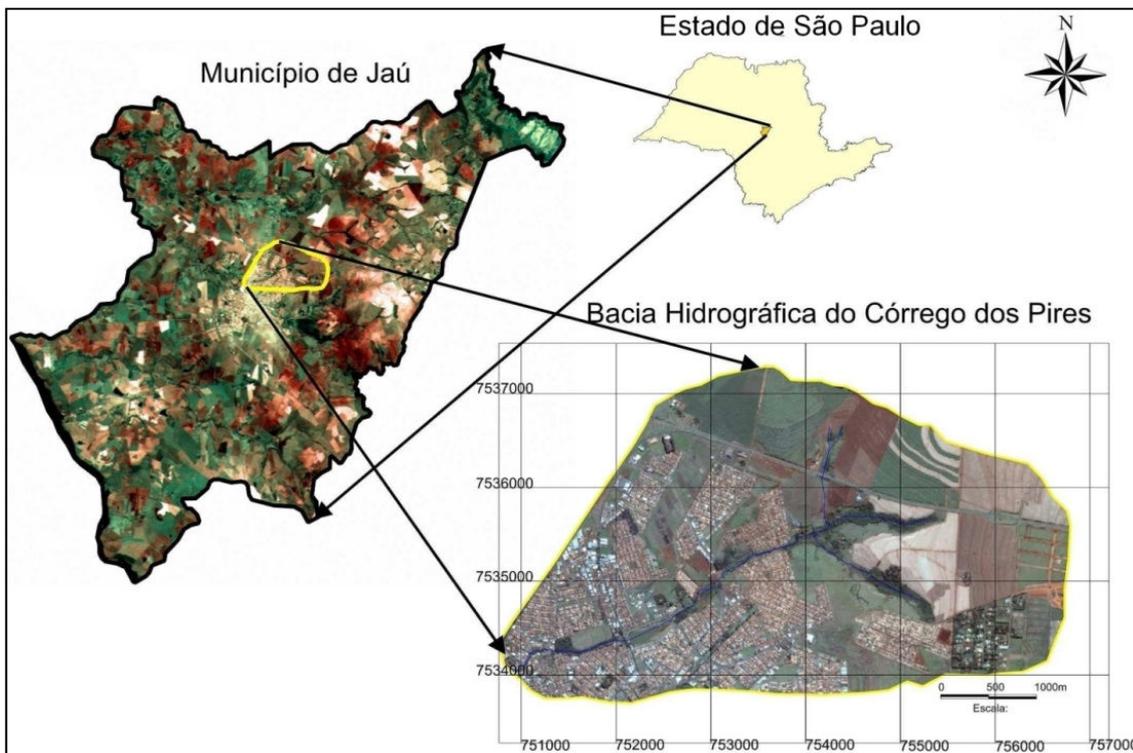
Sendo assim, as características físicas e bióticas e as atividades antrópicas de uma bacia possuem papel importante nos processos do ciclo hidrológico, influenciando na infiltração, na evapotranspiração e na quantidade de água dos escoamentos superficial e sub superficial (TONELLO, 2005).

O uso das Bacias Hidrográficas como unidades de estudo, portanto, é fundamental tanto para a prevenção de impactos indesejados quanto para a elaboração de medidas mitigadoras ou corretivas. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo determinar e analisar as características morfológicas e hidrológicas, bem como as alterações causadas pela urbanização sem planejamento em uma bacia hidrográfica localizada no município de Jaú no estado de São Paulo.

## **METODOLOGIA**

### **Área De Estudo**

A área de estudo deste artigo foi a bacia hidrográfica do Córrego dos Pires que está situada entre as longitudes: 22°17'11" ; 22°15'05" S e latitudes 48°34'03" ; 48°30'27" O, com uma área total de 15,34 km<sup>2</sup>, com altitude máxima de 655 m e mínima de 484 m, sendo a altitude média de 585 m e a amplitude altimétrica de 171 m. A figura 1 ilustra a localização da área de estudo.

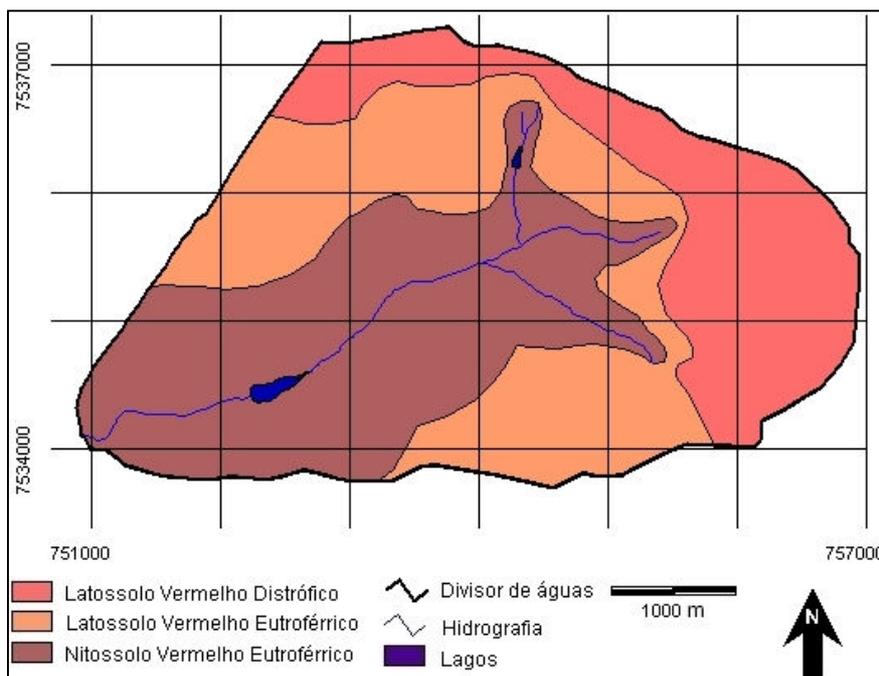


**Figura 1:** Localização da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

**Fonte:** Cartas Topográficas IGC, folhas (SF-22-Z-B-II-4-NE-A) e (SF-22-Z-B-II-4-NE-B), escala 1:10.000 e imagem do satélite CBERS 2 B CCD 1 XS 16/10/2008, órbita/ponto 156/125 bandas 1, 2 e 3. Composição colorida e Imagem do Google Earth de 04/07/2008, acesso em 09/05/2010. Projeção UTM Zona 22S Meridiano Central 51° WG.

O Córrego dos Pires é um curso d'água de 2ª ordem de acordo com a classificação proposta por Strahler (1953), seguindo os parâmetros estabelecidos por Shreve (1966); afluente da margem direita do Rio Jaú, que por sua vez é um afluente da margem direita no curso médio do Rio Tietê. A área da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires está localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê - Jacaré (UGHRI nº. 13) e é classificada como endorréica, pois, é formada por drenagens internas que não possuem escoamento direto até o oceano (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O clima na bacia é do tipo "Cwa", na classificação Köppen, definido como tropical de altitude, com verão úmido e inverno seco, com temperatura média do mês mais quente superior a 22° C. A precipitação anual em anos normais varia de 1400 a 1500 mm. O período chuvoso ocorre de outubro a março, sendo o trimestre mais chuvoso de dezembro a fevereiro. O período seco vai de abril a setembro, com o trimestre mais seco entre junho e agosto (SOUZA; CREMONESI, 2004), Rezende (2009) estimou uma média pluviométrica anual para a bacia do Rio Jaú de 1418,8 mm de 1984 a 1998. Os tipos de solo encontrados nesta área são: Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Eutrófico e o Nitossolo Vermelho Eutrófico, conforme ilustra a figura 2.



**Figura 2:** Tipos de solo da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

**Fonte:** Cartas Topográficas IGC, folhas (SF-22-Z-B-II-4-NE-A) e (SF-22-Z-B-II-4-NE-B), escala 1:10.000 e Cartas Pedológicas IAC, folhas Jaú e Brotas, escala 1:100.000 (ALMEIDA; PRADO; OLIVEIRA, 1981).  
Projeção UTM Zona 22S Meridiano Central 51° WG.

## Caracterização da Pesquisa

A caracterização morfológica e as estimativas hidrológicas para a bacia hidrográfica do Córrego dos Pires foram realizadas com o uso dos softwares AutoCAD MAP 2010 e Idrisi Taiga e envolveram a análise das alterações físicas pelo processo de urbanização na bacia a partir da simulação de três cenários:

O primeiro cenário, denominado “Natural”, foram desconsideradas as ações antrópicas e o divisor de águas foi delimitado com base no relevo natural e nos dados fisiográficos digitais extraídos das Cartas Topográficas do IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, folhas (SF-22-Z-B-II-4-NE-A) e (SF-22-Z-B-II-4-NE-B) em escala de 1:10.000 de 1980.

O segundo cenário, denominado “Atual”, teve o divisor de águas delimitado a partir dos parâmetros do primeiro cenário, por intermédio da foto interpretação de imagem do Google Earth, satélite GeoEye de 01/06/2010 e de visitas à campo, visando verificar possíveis as alterações promovidas pelo processo de urbanização.

Para o terceiro cenário, denominado “Tendencial”, foram adotadas as mesmas delimitações do divisor de águas do cenário “Atual”, considerando, porém, a urbanização e a impermeabilização do solo das áreas urbanas ainda não consolidadas e nas áreas de expansão urbana previstas no plano diretor municipal de Jaú, instituído pela Lei Complementar Municipal nº. 277 de 10 de outubro de 2006; que “dispõe sobre Plano Diretor de Jaú, o sistema e o processo de Planejamento e Gestão do desenvolvimento urbano do município de Jaú”. Para estas áreas foi considerado o mesmo grau de impermeabilização encontrado nas áreas urbanas consolidadas.

Em relação aos usos do solo, no cenário “Natural” considerou-se, para o cálculo do escoamento superficial, que toda a bacia possuía as fisionomias de vegetação naturais da região (florestas estacionais e matas ciliares).

Para o cenário “Atual” foi adotada a seguinte classificação para os usos do solo:

- **Zona Urbana Consolidada:** áreas urbanas efetivamente implementadas com parcelamento intensivo do solo, alta densidade de construções e elevado grau de impermeabilização do solo;
- **Zona Urbana não Consolidada:** áreas urbanas com baixo adensamento e baixa impermeabilização do solo, porém em processo de consolidação;
- **Zona de Expansão Urbana:** áreas ainda não loteadas e edificadas, portanto não impermeabilizadas, porém, consideradas como áreas de expansão urbana pela legislação municipal;
- **Zona Rural:** áreas com atividades agrícolas, com predominância de cana de açúcar;
- **Rodovias:** áreas com pavimentação asfáltica, com canteiros centrais e marginais.

Para o cenário “Tendencial” considerou-se como Zona Urbana Consolidada a Zona Urbana não Consolidada e a Zona de Expansão Urbana, mantendo-se a Zona Rural e as Rodovias.

Foram delimitadas as áreas de preservação permanente (APP), situadas nas nascentes em área circular com raio de 50 m e em faixa marginal ao longo do Córrego dos Pires com 30 m de largura de cada lado, medida a partir do nível mais alto em projeção horizontal, conforme determina a Resolução CONAMA nº303/2002 para cursos d’água com menos de 10 m de largura. Esta delimitação foi realizada a partir da vetorização da rede de drenagem da bacia; e a caracterização da vegetação remanescentes, a partir de fotointerpretação de imagem de satélite.

A caracterização morfométrica foi realizada para os cenários “Natural” e “Atual”, e além dos atributos básicos (área, perímetro, comprimento axial, comprimento do talvegue e extensão da rede de drenagem), foram calculados também: o Índice de Circularidade (Ic); o Fator de Forma (Kf); o Coeficiente de Compacidade (Kc) e Densidade de Drenagem (Dd).

O Coeficiente de Compacidade (Kc), é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia e foi calculado a partir da equação:  $Kc = 0,28.(P/(\sqrt{A}))$ ; onde, Kc é o Coeficiente de Compacidade, P é o perímetro em km e A é a área da bacia em km<sup>2</sup>. Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular ela for, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia e mais sujeita a enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975).

O Fator de Forma (Kf) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da Bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão). Ele foi calculado a partir da equação:  $Kf = A/(Lx^2)$ ; onde, Kf é o Fator de Forma, A é a área da bacia em km<sup>2</sup> e Lx é o comprimento axial da bacia em km medido do exutório até o ponto inicial do talvegue. Uma bacia com fator de forma baixo indica que a mesma é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém, com fator de forma maior (VILLELA; MATTOS, 1975).

O Índice de Circularidade foi outro parâmetro utilizado. Ele tende para a unidade, a medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui a medida que a forma torna-se alongada. Ele foi calculado pela equação:  $Ic = 12,57 \cdot (A/P^2)$ ; onde,  $Ic$  é o Índice de Circularidade,  $A$  é a área em  $km^2$  e  $P$  é o perímetro em  $km$  (TONELLO, 2005).

Baseado no ordenamento dos canais, também foi calculado a Densidade de Drenagem que é o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos de água pela área da bacia. Esse índice pode variar de  $0,5 km.km^{-2}$  em bacias com drenagem pobre a  $3,5 km.km^{-2}$  ou mais em bacias bem drenadas (VILLELA; MATTOS, 1975). A densidade de drenagem foi calculada pela equação:  $Dd = Lt/A$ ; onde,  $Dd$  é a Densidade de Drenagem;  $Lt$  é o comprimento total dos canais em  $km$  e  $A$  é a área da bacia em  $km^2$ .

Para a elaboração do mapa de declividade foi feito a interpolação por triangulação das curvas de nível com equidistância de 5 metros e através dessa, foi gerado o modelo digital de terreno. As classes de declividade foram definidas conforme o proposto pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 1969 citado por TUCCI, 2000).

A caracterização hidrológica da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, para os cenários "Natural", "Atual" e "Tendencial" foi realizada pelo método I-PAI-WU, que é um aprimoramento do Método Racional aplicável para bacias com áreas de drenagem de  $2 km^2$  até  $200 km^2$ , proposto pelo DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (1994), cuja equação é:  $Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A^{0,9} \cdot K$ . Onde:  $Q$  é a vazão de cheia ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );  $i$  é a intensidade da chuva crítica ( $mm/h$ ), definida através da equação de chuva de Jaú:  $i = 1065,247 \cdot Tr^{0,132} / (t+9)^{0,780}$ , elaborada por Fabricio et. al. (2012), onde o  $Tr$  é o período de retorno (anos) e  $t$  é o tempo de concentração (min);  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial;  $A$  é a área da bacia ( $km^2$ ) e o  $K$  é o coeficiente de distribuição espacial da chuva, definido através de um ábaco especial elaborado pelo DAEE (1994).

O coeficiente  $C$ , que é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado foi calculado pela seguinte equação:  $C = 2 / (1+F) \cdot (C2/C1)$ . Onde o  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial;  $F$  é o fator de forma da Bacia, determinado pela equação:  $F = L / [2 \cdot (A/\pi)^{0,5}]$ ;  $C2$  é o coeficiente volumétrico de escoamento, este é equivalente ao coeficiente  $C$  do Método Racional, que por sua vez é obtido através de ponderações entre as áreas e seus respectivos valores recomendados de  $C$ , conforme tabelas, e  $C1$  é o coeficiente de forma da bacia, obtido através da equação:  $C1 = 4 / (2+F)$ .

A estimativa do coeficiente  $C2$  foi elaborada através da ponderação entre as áreas de cada classe de uso do solo e os valores recomendados pela ASCE (1969) citado por Tucci (2000) para áreas urbanas e por Williams (1949) citado por Tucci (2000) para áreas rurais, apresentados respectivamente nas tabelas 1 e 2. Para as áreas rurais a equação utilizada foi:  $C = 1 - (C'1 + C'2 + C'3)$ .

**Tabela 1:** Valores do coeficiente C.

| SUPERFÍCIE                           | C         |        |                |
|--------------------------------------|-----------|--------|----------------|
|                                      | INTERVALO |        | VALOR ESPERADO |
| <b>Pavimento</b>                     |           |        |                |
| Asfalto                              | 0.70      | - 0.95 | 0.83           |
| Concreto                             | 0.80      | - 0.95 | 0.88           |
| Calçadas                             | 0.75      | - 0.85 | 0.80           |
| Telhado                              | 0.75      | - 0.95 | 0.85           |
| <b>Cobertura: grama solo arenoso</b> |           |        |                |
| Plano (2%)                           | 0.05      | - 0.10 | 0.08           |
| Médio (2% a 7%)                      | 0.10      | - 0.15 | 0.13           |
| Alta (7%)                            | 0.15      | - 0.20 | 0.18           |
| <b>Cobertura: grama solo pesado</b>  |           |        |                |
| Plano (2%)                           | 0.13      | - 0.17 | 0.15           |
| Médio (2% a 7%)                      | 0.18      | - 0.22 | 0.20           |
| Declividade alta (7%)                | 0.25      | - 0.35 | 0.30           |

**Fonte:** ASCE (1969 citado por TUCCI, 2000).

**Tabela 2:** Valor de C para áreas rurais.

| TIPO DE ÁREA                         | C'   |
|--------------------------------------|------|
| <b>1 Topografia</b>                  |      |
| Plano, declividade de 0.2 - 0.6 m/km | 0.30 |
| Plano, declividade de 3 - 4 m/km     | 0.20 |
| Morros, declividade de 30 - 50 m/km  | 0.10 |
| <b>2 Solo</b>                        |      |
| Argila impermeável                   | 0.10 |
| Permeabilidade média                 | 0.20 |
| Arenoso                              | 0.40 |
| <b>3 Cobertura</b>                   |      |
| Áreas cultivadas                     | 0.10 |
| Árvores                              | 0.20 |

**Fonte:** WILLIAMS (1949 citado por TUCCI, 2000).

Considerando o comportamento natural da bacia, o coeficiente irá variar conforme o período de retorno, elevando-se conforme o aumento da intensidade, pois as perdas não serão as mesmas (TUCCI, 2000). Para levar em conta esta variação é utilizado um multiplicador para o valor de C2 de acordo com o tempo de retorno, conforme mostra a tabela 3.

**Tabela 3:** Fator de correção do coeficiente C.

| PERÍODO DE RETORNO (ANOS) | CF   |
|---------------------------|------|
| 2 a 10                    | 1.00 |
| 25                        | 1.10 |
| 50                        | 1.20 |
| 100                       | 1.25 |

**Fonte:** WRIGHT-MACLAUGHIN (1969 citado por TUCCI, 2000)

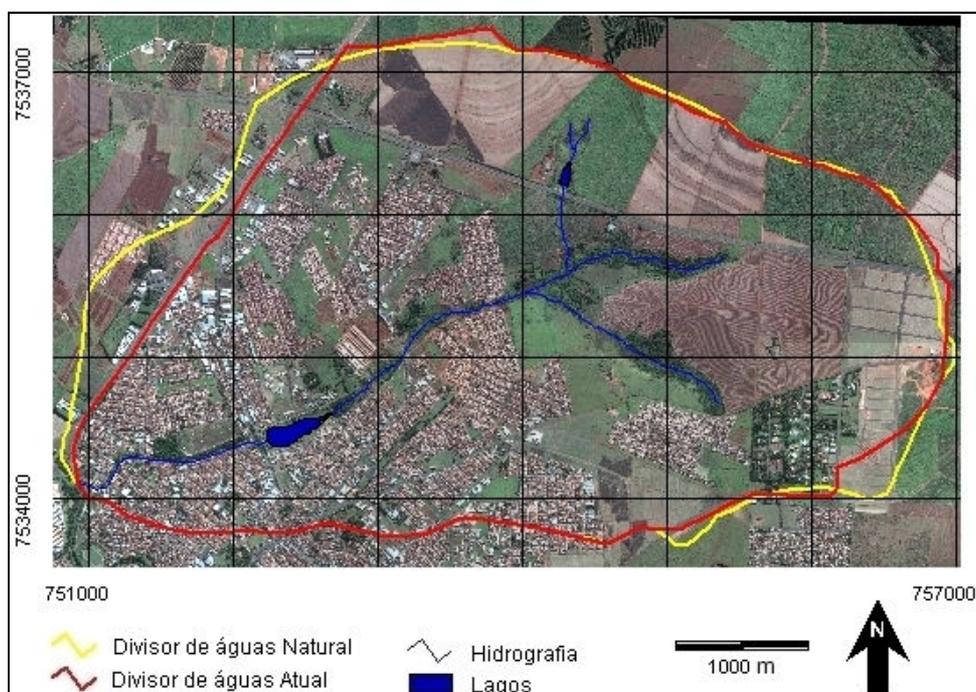
O tempo de concentração (tempo em que a chuva que cai no ponto mais distante da bacia leva para atingir o exutório) foi estimado a partir da equação de *Kirpich*:  $tc = 57 \cdot (L^2/S)^{0,385}$ . Onde: tc é tempo de concentração (min), L o comprimento do talvegue (km) e S a declividade equivalente do talvegue ( $m \cdot km^{-1}$ ).

O volume total escoado foi estimado utilizando a equação:  $V = (0,278 \cdot C2 \cdot i \cdot tc \cdot 3600 \cdot A^{0,9} \cdot K) \cdot 1,5$ . Onde V é o volume total do hidrograma ( $m^3$ ), i é a intensidade

da chuva (mm/h),  $t_c$  é o tempo de concentração (horas),  $A$  é a área da bacia de contribuição (km<sup>2</sup>),  $C_2$  é o coeficiente volumétrico de escoamento e  $K$  é o coeficiente de distribuição espacial da chuva, definido através de um ábaco especial elaborado pelo DAEE (1994).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os limites da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires foram alterados com os processos de urbanização, construção e ampliação de vias de transporte. A implementação de um anel viário na porção oeste da bacia e a construção de um sistema de drenagem pluvial em um bairro localizado na porção sudeste, que direcionou o escoamento superficial para a bacia adjacente (bacia hidrográfica do Córrego Santo Antonio) modificaram o divisor de águas. O mapa com a delimitação dos divisores de água dos cenários “Natural” e “Atual” da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires pode ser observado na figura 3.



**Figura 3:** Divisor de águas dos cenários “Natural” e “Atual” da bacia do Córrego dos Pires – Jaú/SP.  
**Fonte:** Cartas Topográficas IGC, folhas (SF-22-Z-B-II-4-NE-A) e (SF-22-Z-B-II-4-NE-B), escala 1:10.000 e Imagem do Google Earth satélite GeoEye de 01/06/2010. Projeção UTM Zona 22S Meridiano Central 51° WG.

A tabela 4 apresenta os valores de área, perímetro, comprimento axial, comprimento do talvegue e comprimento da rede de drenagem dos cenários “Natural” e “Atual” da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires. Pode-se observar que no cenário “Atual” em comparação ao “Natural” ocorreram algumas alterações morfológicas, devido às atividades antrópicas na bacia. A área da bacia teve uma redução de 5,7% e o perímetro de 2,8%, porém, a rede de drenagem teve um pequeno aumento de 0,97%, devido ao surgimento de uma nova nascente em uma das cabeceiras.

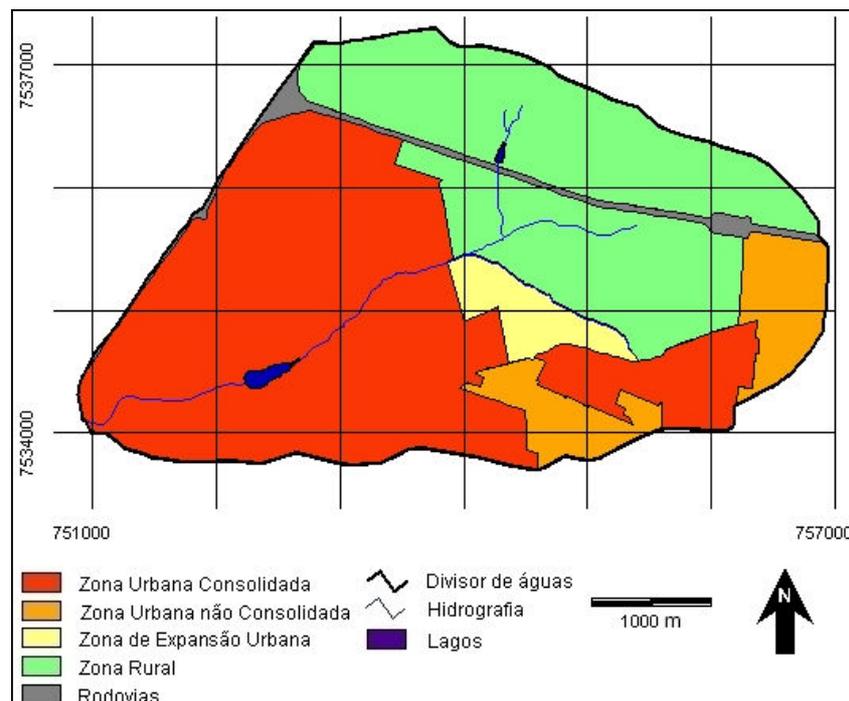
**Tabela 4:** Área, Perímetro, Comprimento axial, Comprimento do Talvegue e Comprimento da rede de drenagem dos cenários “Natural” e “Atual” da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS | CENÁRIOS |                 |                       |
|--------------------------|----------|-----------------|-----------------------|
|                          | NATURAL  |                 | ATUAL/TENDENCIAL      |
| Área (A)                 | 16.27    | km <sup>2</sup> | 15.34 km <sup>2</sup> |
| Perímetro (P)            | 16.28    | km              | 15.82 km              |
| Comprimento Axial (Lx)   | 4.47     | km              | 4.45 km               |
| Talvegue (L)             | 5.51     | km              | 5.51 km               |
| Rede de drenagem (Lt)    | 8.27     | km              | 8.35 km               |

Aproximadamente metade da área total da bacia foi classificada como Zona Urbana Consolidada e aproximadamente 12% da área total deve ser urbanizada a curto prazo. A tabela 5 apresenta a área e o percentual em relação à área total da bacia no cenário “Atual” por classe de uso do solo. O mapa da classificação dos usos do solo do cenário “Atual” da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires pode ser visualizado na figura 4.

**Tabela 5:** Classificação dos usos do solo no cenário “Atual” da bacia do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| Classes de uso              | Área                 | Porcentagem Total |
|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Zona Urbana Consolidada     | 7.78 km <sup>2</sup> | 50.72 %           |
| Zona Urbana não Consolidada | 1.31 km <sup>2</sup> | 8.54 %            |
| Zona de Expansão Urbana     | 0.58 km <sup>2</sup> | 3.78 %            |
| Zona Rural                  | 5.25 km <sup>2</sup> | 34.22 %           |
| Rodovias                    | 0.42 km <sup>2</sup> | 2.74 %            |

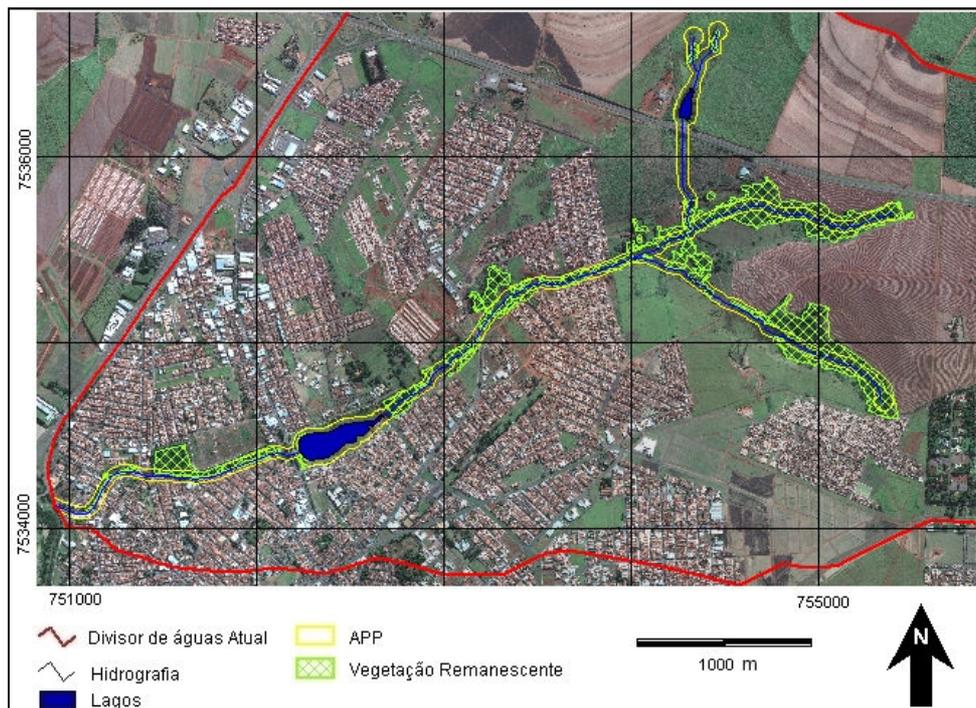


**Figura 4:** Usos do solo do cenário “Atual” da bacia do Córrego dos Pires - Jaú/SP.

**Fonte:** Cartas Topográficas IGC, folhas (SF-22-Z-B-II-4-NE-A) e (SF-22-Z-B-II-4-NE-B), escala 1:10.000 e Imagem do Google Earth satélite GeoEye de 01/06/2010. Projeção UTM Zona 22S Meridiano Central 51° WG.

As áreas de preservação permanente (APP) ciliar e de nascentes na bacia somam 0,47 km<sup>2</sup> no cenário “Atual”, sendo que a vegetação remanescente nestas áreas perfazem apenas 0,22 km<sup>2</sup>, ou seja, 53% das APPs ciliares e de nascentes da bacia encontram-se degradadas sem

vegetação remanescente ou ocupadas por usos urbanos irregulares. Constatou-se também a presença de aproximadamente 0.28 km<sup>2</sup> fora das APPs. A figura 5 ilustra este cenário.



**Figura 5:** App e Vegetação remanescente da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

**Fonte:** Cartas Topográficas IGC, folhas (SF-22-Z-B-II-4-NE-A) e (SF-22-Z-B-II-4-NE-B), escala 1:10.000 e Imagem do Google Earth satélite GeoEye de 01/06/2010. Projeção UTM Zona 22S Meridiano Central 51° WG.

A análise dos índices de forma da bacia dos cenários “Natural” e “Atual” não apresentou variações significativas, indicando que não ocorreram modificações morfológicas a ponto de justificar possíveis alterações hidrológicas no cenário “Atual” da bacia. Os valores calculados para os descritores morfológicos da Bacia do Córrego dos Pires, podem ser encontrados na tabela 6.

**Tabela 6:** Fator de Forma, Índice de Circularidade, Coeficiente de Compacidade e Densidade de Drenagem dos cenários “Natural” e “Atual” da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| ÍNDICES DE FORMA           | CENÁRIOS |                  |
|----------------------------|----------|------------------|
|                            | NATURAL  | ATUAL/TENDENCIAL |
| Coeficiente de compacidade | 1.13     | 1.13             |
| Fator de forma             | 0.81     | 0.77             |
| Índice de circularidade    | 0.77     | 0.77             |
| Densidade de drenagem      | 0.51     | 0.54             |

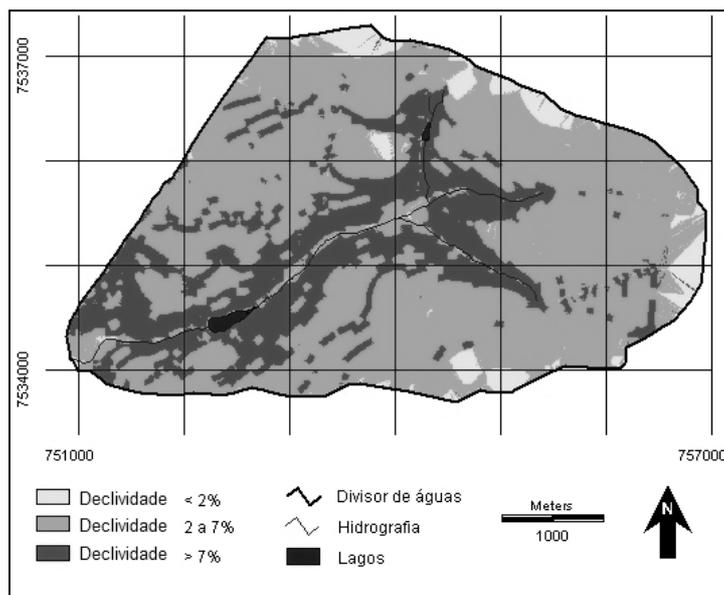
O coeficiente de compacidade Kc apresentou o valor de 1.13 em ambos cenários. Um coeficiente igual à unidade corresponde a uma bacia circular e como a tendência à enchente de uma bacia será tanto maior quanto mais próximo da unidade for este coeficiente, constata-se, em relação ao Kc, que a bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, demonstra ser susceptível à enchentes por ser mais arredondada. Segundo GARCEZ et. al, (1988), desde que outros fatores não interfiram, valores menores do índice de compacidade indicam maior potencialidade de produção de picos de enchentes elevados.

O fator de forma da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires apresentou Kf de 0.81 para o cenário “Natural” e 0.77 para o cenário “Atual”. Numa bacia larga e curta, com fator de forma alto indica que a mesma é mais sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, com fator de forma menor (VILLELA; MATTOS, 1975). Isto significa dizer que a bacia em estudo tem poucos tributários atingindo o rio principal, tornando-a susceptível ao acúmulo de água e enchentes durante chuvas muito intensas e de longa duração, comprovando a análise feita para o coeficiente de compacidade.

Já o índice de circularidade Ic calculado em 0.77 em ambos cenários, caracteriza a forma da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, como arredondada (circular, larga e curta), confirmando o coeficiente de compacidade Kc determinado anteriormente. Seu valor se aproxima da unidade, evidenciando um maior risco de grandes cheias em condições anormais de pluviosidade anual e topografia pouco favorável ao escoamento superficial.

A densidade de drenagem estimada para o cenário “Natural” foi de 0.51 km.km<sup>-2</sup> e de 0.54 km.km<sup>-2</sup> no cenário “Atual”. O que demonstra um sistema de drenagem pobre, além de ter apresentado um número pequeno de ramificações, conforme a classificação de Strahler (1953). A bacia tem a maior eficiência de drenagem quanto maior for essa relação (VILLELA; MATTOS, 1975).

Em relação à declividade 68,5% da área da bacia no cenário “Atual” apresentam declividades inferiores a 7%. Os valores encontrados para áreas com declividade de até 2% foi de 0,84 km<sup>2</sup>, para áreas com declividade maior que 2% e menor que 7% foi de 10,51 km<sup>2</sup> e para áreas com declividade acima de 7% foi de 3,99 km<sup>2</sup>. O mapa de declividade pode ser encontrado na figura 6, onde pode-se observar também que as maiores declividades da bacia ocorrem no fundo de vale, próximas a rede de drenagem.



**Figura 6:** Declividades da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

**Fonte:** Cartas Topográficas IGC, folhas (SF-22-Z-B-II-4-NE-A) e (SF-22-Z-B-II-4-NE-B), escala 1:10.000 e Imagem do Google Earth satélite GeoEye de 01/06/2010. Projeção UTM Zona 22S Meridiano Central 51° WG.

Durante a urbanização desordenada da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires no processo de crescimento da cidade de Jaú, houve um aumento significativo da área impermeável, que resultou num grau de impermeabilização superior a 68% em mais da metade da área da bacia no cenário “Atual”. A tabela 7 apresenta as áreas de cada classe de uso do solo com as respectivas porcentagens de impermeabilização e os valores médios do coeficiente C (C2) do cenário “Atual” da bacia.

**Tabela 7:** Áreas, Índices de impermeabilização e valores médios dos coeficientes C das classes de uso do solo do cenário “Atual” da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| CLASSES DE USO              | TOTAL (KM <sup>2</sup> ) | IMPERMEABILIZAÇÃO (%) | C2   |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|------|
| Zona Urbana Consolidada     | 7.79                     | 68.48                 | 0.65 |
| Zona Urbana não Consolidada | 1.31                     | 15.53                 | 0.50 |
| Zona Urbana em Expansão     | 0.58                     | 0.52                  | 0.41 |
| Zona Rural                  | 5.25                     | 1.01                  | 0.63 |
| Rodovias                    | 0.42                     | 47.39                 | 0.43 |

O valor do coeficiente de distribuição espacial da chuva (k), definido através do ábaco especial elaborado pelo DAEE foi 96,9% e o tempo de concentração estimado para a bacia foi de 74.53 minutos (1.24 horas). Os valores de intensidade de chuvas críticas, calculados a partir da equação de chuva de Jaú conforme o período de retorno podem ser encontrados na tabela 8.

**Tabela 8:** Intensidade de chuva por tempo de retorno para bacia do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| Tr (anos) | i (mm.h <sup>-1</sup> ) |
|-----------|-------------------------|
| 10        | 45.75                   |
| 25        | 51.63                   |
| 50        | 56.58                   |
| 100       | 62.00                   |

A tabela 9 apresenta as áreas e as respectivas porcentagens de impermeabilização, bem como os valores dos coeficientes ponderados de escoamento superficial dos três cenários da bacia. Para o cenário “Natural” considerou-se que não havia impermeabilização na bacia. Para o cenário “Tendencial” considerou-se que as áreas urbanas não consolidadas e de expansão, teriam o mesmo grau de impermeabilização da zona urbana consolidada do cenário “Atual”.

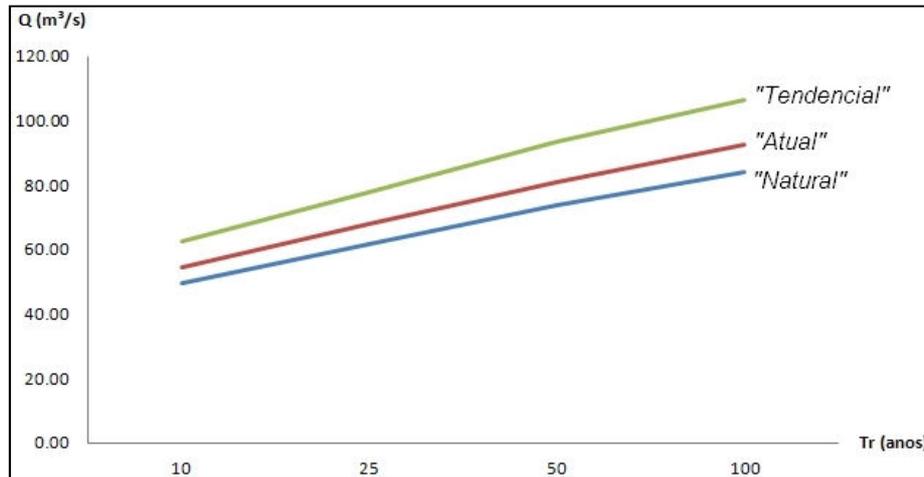
**Tabela 9:** Índices de impermeabilização e coeficientes de escoamento superficial dos cenários da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| CENÁRIOS     | TOTAL (KM <sup>2</sup> ) | IMPERMEABILIZAÇÃO (%) | C    |
|--------------|--------------------------|-----------------------|------|
| “Natural”    | 16.27                    | 0.00                  | 0.33 |
| “Atual”      | 15.34                    | 37.75                 | 0.38 |
| “Tendencial” | 15.34                    | 44.37                 | 0.44 |

A análise das vazões máximas para os cenários comprova que existe uma relação diretamente proporcional entre o escoamento superficial e o percentual de áreas impermeáveis de uma bacia hidrográfica. Os valores das vazões por período de retorno podem ser encontrados na tabela 10. O gráfico comparativo entre as vazões em relação ao tempo de retorno para os cenários da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires pode ser observado na figura 7.

**Tabela 10:** Vazões por período de retorno nos cenários da bacia do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| Tr (ANOS) | CENÁRIOS                                    |           |         |              |
|-----------|---|-----------|---------|--------------|
|           |   | “Natural” | “Atual” | “Tendencial” |
| 10        | Vazão<br>(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) | 49.61     | 54.53   | 62.73        |
| 25        |   | 61.64     | 67.71   | 77.94        |
| 50        |   | 73.74     | 80.96   | 93.24        |
| 100       |   | 84.10     | 92.42   | 106.46       |

**Figura 7:** Vazões x Período de retorno dos cenários da bacia do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

O volume total escoado na bacia considerando as chuvas críticas crescerá aproximadamente 15% caso a tendência de impermeabilização do solo seja concretizada. Os valores dos volumes escoados por período de retorno podem ser encontrados na tabela 11.

**Tabela 11:** Volume escoado por período de retorno nos cenários da bacia do Córrego dos Pires – Jaú/SP.

| Tr (ANOS) | CENÁRIOS                 |           |           |              |
|-----------|--------------------------|-----------|-----------|--------------|
|           |                          | “Natural” | “Atual”   | “Tendencial” |
| 10        | Volume (m <sup>3</sup> ) | 457177.10 | 500981.03 | 578055.04    |
| 25        |                          | 515935.60 | 565369.41 | 652349.32    |
| 50        |                          | 565400.67 | 619573.92 | 714892.98    |
| 100       |                          | 619562.41 | 678925.12 | 783375.13    |

## CONCLUSÕES

A urbanização pode causar alterações morfométricas e hidrológicas em uma bacia hidrográfica. Um processo de urbanização sem planejamento, levando a ocupação desordenada do solo, pode ocasionar modificações significativas nos padrões de drenagem de uma bacia hidrográfica, levando a impactos socioambientais negativos, decorrentes principalmente da ocupação dos fundos de vale.

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que durante o processo de urbanização da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires ocorreram alterações nos limites da bacia, com a modificação do traçado do divisor de águas e conseqüentemente com as mudanças em sua área total.

Apesar das alterações expressas nos valores dos índices de forma da bacia não serem muito significativas, a impermeabilização do solo, decorrente deste processo de urbanização, entretanto, acarretou em aumentos do escoamento superficial e do pico das enchentes na bacia. As enchentes rápidas são um dos maiores problemas enfrentados pela população brasileira atualmente. Considerando que elas são decorrentes dos padrões de uso do solo e de ocupação de fundo de vales, fica evidente a importância da utilização das bacias hidrográficas como unidades de planejamento do crescimento das cidades, a fim da elaboração de alternativas adequadas para a gestão das águas pluviais nas zonas urbanas.

O estudo das bacias hidrográficas em processo de urbanização como o apresentado neste trabalho, pode contribuir para o desenvolvimento de ferramentas que nortearão planejamento da expansão urbana de cidades em relação ao manejo das águas pluviais.

## REFERÊNCIAS

- CHRISTOFOLETTI, A.. **Geomorfologia**, 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº. 303 de 20 de março de 2002**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília: 2002.
- DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo. **Manual de cálculos das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo: 1994.
- FABRICIO, G. M.; KAISER, I. M.; VENIZIANI JUNIOR, J. C. T.; BEZERRA, B. S.; BARRIGA, G. D. C.. Proposta de uma equação de chuvas intensas para o município de Jaú – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS. **Anais**. Rio Claro: UNESP, 2012.
- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A.. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.
- IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. **Cartas Topográficas folhas Jaú I (SF-22-Z-B-II-4-NE-A); Jaú II (SF-22-Z-B-II-4-NE-B)**. São Paulo: S/D.
- JAÚ. **Lei Complementar Municipal n. 277**. Dispõe sobre Plano Diretor de Jaú, o sistema e o processo de Planejamento e Gestão do desenvolvimento urbano do município de Jaú. Jaú: 10 Out 2006.
- LIMA, W. P.. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. 2 ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
- REZENDE, J. H.. **Análise Fluviológica e Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Jaú - SP**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- RUTKOWSKI, E.. Bacia hidrográfica & bacia ambiental. **Revista Ligação**, São Paulo, v.3, n.7, 2000.
- SHREVE, R. L.. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, v.74, p.17-37, 1966.
- SOUZA, A. M.; CREMONESI, F. L.. **Jaú: imagens de um rio**. 2 ed. Piracicaba: Luiz de Queiroz, 2004.
- STRAHLER, A. N.. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, p.1117-1142, 1953.
- TONELLO, K. C.. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- TUCCI, C. E. M.. Controle de enchentes. In: TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000.

TUCCI, C. E. M.. **Gestão integrada dos recursos hídricos**: avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Brasília: MMA, 2006.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHON, W.. **Drenagem urbana e controle de erosão**. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M.. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: EdUFRGS, 2000, v.1, p.119-127.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975.