

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA VAZÃO MÁXIMA DA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CACHOEIRINHA,
LENÇÓIS PAULISTA, SP**

EVERTON CHEQUETO NAVARRO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP
Maio – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA VAZÃO MÁXIMA DA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CACHOEIRINHA,
LENÇÓIS PAULISTA, SP**

EVERTON CHEQUETO NAVARRO

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Antonio Rodrigues

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP
Maio – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

N322i Navarro, Everton Chequeto, 1982-
Influência da urbanização na vazão máxima da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha, Lençóis Paulista, SP / Everton Chequeto Navarro. - Botucatu : [s.n.], 2013 vi, 71 f. : il. color., mapas. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013
Orientador: Valdemir Antonio Rodrigues
Inclui bibliografia

1. Microbacias hidrográficas. 2. Cachoeirinha, Córrego da (Lençóis Paulista, SP) 3. Solos - Permeabilidade. 4. Hidrologia urbana. 5. escoamento urbano. 6. Cursos de água - Fluxo. 7. Solo - Uso. I. Rodrigues, Valdemir Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA VAZÃO MÁXIMA DA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CACHOEIRINHA,
LENÇÓIS PAULISTA, SP

ALUNO: EVERTON CHEQUETO NAVARRO

ORIENTADOR: PROF. DR. VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES



PROF. DR. MAURÍCIO RANZINI



PROFA. DRA. TERESA CRISTINA TARLÉ PISSARRA

Data da Realização: 05 de dezembro de 2012.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1. Objetivo geral.....	5
1.2. Objetivos específicos.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. O processo de urbanização e impactos nos recursos hídricos.....	6
2.2. Ciclo hidrológico global e seus componentes.....	8
2.3. Bacia e microbacia hidrográfica.....	9
2.4. Impactos negativos em bacias hidrográficas e escoamento superficial da água da chuva.....	11
2.5. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento.....	13
2.6. Morfometria de bacias hidrográficas.....	14
2.7. Análise hidrológica de bacias hidrográficas.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Caracterização do município de Lençóis Paulista.....	18
3.2. Caracterização ambiental da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	19
3.2.1. Localização da microbacia hidrográfica.....	19
3.2.2. Aspectos do meio físico do município de Lençóis Paulista.....	20
3.2.2.1. Clima.....	20
3.2.2.2. Recursos hídricos superficiais.....	21
3.2.2.3. Recursos hídricos subterrâneos e unidades geológicas.....	23

3.2.2.4. Solo.....	24
3.2.3. Aspectos do meio biológico do município de Lençóis Paulista.....	25
3.2.3.1. Vegetação natural.....	25
3.3. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	29
3.3.1. Delimitação do divisor de águas.....	29
3.3.2. Parâmetros dimensionais da microbacia.....	29
3.3.3. Caracterização da ordem.....	29
3.3.4. Caracterização da drenagem na microbacia.....	30
3.3.4.1. Densidade de drenagem.....	30
3.3.4.2. Densidade hidrográfica.....	30
3.3.4.3. Frequência de rios.....	31
3.3.4.4. Extensão do percurso superficial.....	31
3.3.4.5. Índice de sinuosidade.....	32
3.3.5. Caracterização do relevo quanto à forma da microbacia...	32
3.3.5.1. Fator de forma.....	32
3.3.5.2. Coeficiente de compacidade.....	33
3.3.5.3. Índice de circularidade.....	34
3.3.5.4. Gradiente de canais.....	35
3.3.5.5. Coeficiente de manutenção.....	35
3.3.6. Caracterização do relevo.....	35
3.3.6.1. Declividade média.....	36
3.3.6.2. Declividade equivalente do talvegue.....	37
3.3.6.3. Altitude média.....	37
3.3.6.4. Amplitude altimétrica.....	37
3.3.6.5. Razão do relevo.....	38
3.3.6.6. Coeficiente de rugosidade.....	38

3.4. Análise hidrológica da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	39
3.4.1. Período de retorno.....	40
3.4.2. Tempo de concentração da água da chuva.....	41
3.4.3. Equação da chuva.....	42
3.4.4. Coeficiente de escoamento superficial.....	43
3.4.5. Método de I-PAI-WU (vazão de cheia).....	44
3.4.6. Vazão máxima de projeto.....	45
3.5. Plano diretor do município de Lençóis Paulista.....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1. Características espaciais e morfométricas da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	48
4.2. Parâmetros da urbanização, prognóstico e projeção da urbanização na microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	54
4.3. Coeficiente de escoamento superficial na microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	55
4.4. Características hidrológicas da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	57
5. CONCLUSÃO.....	60
6. RECOMENDAÇÕES.....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Classificação das mudanças do uso do solo nas bacias hidrográficas.....	11
Tabela 2 - Aspectos hidrogeológicos da UGRHI 13.....	24
Tabela 3 - Classes de interpretação para os valores da densidade de drenagem.....	30
Tabela 4 - Valores e interpretações dos resultados para o fator forma (Ff).....	33
Tabela 5 - Valores para interpretação dos resultados do coeficiente de compacidade (Kc).....	34
Tabela 6 - Classes de declividade e tipo de relevo.....	36
Tabela 7 - Classes de usos dos solos de acordo com o coeficiente de rugosidade.....	39
Tabelas 8 e 9 - Tempo de retorno em função do tipo de obra.....	40
Tabela 10 - Valores recomendados pelo DAEE para o coeficiente C.....	43
Tabela 11 - Características físicas da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	51
Tabela 12 - Características do talvegue da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	52
Tabela 13 - Impacto da urbanização.....	56
Tabela 14 - Características hidrológicas da microbacia do córrego da Cachoeirinha com usos e ocupação dos solos atual e para uma projeção futura utilizando o Método I-PAI-WU.....	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Ciclo da água e seus componentes.....	8
Figura 2 - Bacia hidrográfica.....	9
Figura 3 - Ilustração de bacia, sub-bacia e microbacia hidrográfica.....	10
Figura 4 - Balanço hídrico nas situações pré-urbanizada e urbanizada.....	12
Figura 5 - Mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos – UGRHI no Estado de São Paulo.....	14
Figura 6 - Diagrama das metodologias adotadas para estimativa de vazões de enchente.....	17
Figura 7 - Localização do Município de Lençóis Paulista no Estado de São Paulo.....	19
Figura 8 - Localização do córrego da Cachoeirinha no município de Lençóis Paulista.....	20
Figura 9 - Rede de drenagem e sub-bacias da UGRHI - 13.....	22
Figura 10 - Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré, destacando o município de Lençóis Paulista.....	23
Figura 11 - Base de Solos no Estado de São Paulo.....	25
Figura 12 - Mapa de Biomas do Brasil, região do município de Lençóis Paulista.....	26
Figura 13 - Mapa de Vegetação do Brasil, região do município de Lençóis Paulista.....	27
Figura 14 - Mapa florestal do município de Lençóis Paulista.....	28
Figura 15 - Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).....	45
Figura 16 - Mapa de zoneamento urbano do município de Lençóis Paulista.....	47

Figura 17 - Mapa de usos e ocupação dos solos da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	49
Figura 18 - Mapa hipsométrico da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.....	53
Figura 19 - Parâmetros de urbanização da microbacia hidrográfica do Córrego da Cachoeirinha – cenário atual e projeção futura.....	55
Figura 20 - Gráfico da variação do coeficiente de escoamento superficial na microbacia do córrego da Cachoeirinha.....	57
Figura 21 - Gráfico da vazão máxima da microbacia do córrego da Cachoeirinha com os usos e ocupação dos solos atual e para uma projeção futura.....	58

INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA VAZÃO MÁXIMA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CACHOEIRINHA, LENÇÓIS PAULISTA, SP.

RESUMO

A urbanização acarreta a diminuição da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo, direcionando maior parcela de água pluvial a um escoamento superficial, dada a redução da infiltração, além de diminuir a recarga dos aquíferos e queda da capacidade de amortecimento natural das bacias hidrográficas. A consequência deste processo é um aumento nos volumes escoados e nas vazões de pico, ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração da água da chuva, provocando eventos de cheias cada vez mais críticos. Partindo desta premissa, torna-se fundamental a realização de estudos que forneçam prognósticos sobre estes aspectos hidrológicos em bacias hidrográficas, sobretudo em bacias a serem urbanizadas, como é o caso da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar as condições ambientais, a morfometria e as variáveis hidrológicas da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha, relacionando o escoamento superficial da água da chuva com parâmetros de urbanização, mas especificamente sobre a influência da impermeabilização do solo nos processos hidrológicos em bacias hidrográficas com áreas urbanizadas ou a serem urbanizadas. A microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha está localizada no município de Lençóis Paulista, Centro-Oeste do Estado de São Paulo e inserida entre as coordenadas UTM N: 7.492.000 e 7.500.000 m e UTM E: 726.000 e 730.000 m, fuso 22 K, encontrando-se a uma altitude de 517 a 646 m, acima do nível do mar. Ocupa uma área de 15,71 km², sendo integrante da 13^ª Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI), na bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré (UGRHI – 13). Dentre as metodologias de extensão da série histórica de dados fluviométricos inferior a três (3) anos, foi utilizado para os cálculos hidrológicos o método sintético de I-PAI-WU, com áreas de drenagem de 2 a 200 km². As simulações realizadas neste estudo mostraram que o avanço do processo de urbanização na microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha tem significativo efeito sobre o coeficiente de escoamento superficial e, que a aplicação de projeção futura para os usos e ocupação dos solos revela que a influência do processo de adensamento urbano sobre o incremento dessas vazões (cheia e máxima) poderá ser muito expressivo.

Palavras-Chave: urbanização, impermeabilização do solo, coeficiente de escoamento superficial, vazão máxima de projeto e método de I-PAI-WU.

THE INFLUENCY OF URBANIZATION IN THE MAXIMUM FLOW OF CACHOEIRINHA STREAM HYDROGRAPHIC WATERSHED, LENÇÓIS PAULISTA, SP.

ABSTRACT

The urbanization leads to a decrease in the vegetation cover and in the soil waterproofing, directing a major part of the pluvial water in to a superficial drainage, due to the reduction of infiltration, besides of diminishing the recharge of aquifers and the decrease of the natural damping capacity of the watersheds. The consequence of this process it is an increase in the drain aged volumes and in the flow surges, at the same time that occurs the reduction of time concerning the concentration of rain water, causing critical floods events. From this premise it is essential the realization of studies which provide a forecast about the hydrologic aspects in watersheds, mainly in those where it is need urbanization, as in the case of the micro watershed of Cachoeirinha stream. The present paper has the objective of studying the environmental conditions, the morphometry, and the hydrographic variations of the micro watershed of Cachoeirinha stream relating the superficial flow of the rain water with the guidelines of urbanization, but mainly this paper concerns about the influence of the soil waterproofing in the hydrologic process in the hydrographic watersheds in urbanized areas or those ones which are meant to be. The micro watershed of Cachoeirinha stream is located in Lençóis Paulista township, central west of Sao Paulo state between the coordinates: UTM N: 7.492.000 and 7.500.000 m and UTM E: 726.000 e 730.000 m, time zone 22K, in the altitude of 517 to 646 above the ocean level. It occupies an area of 15,71 km², and the town is part of the 13° “Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI)” in the Tietê/Jacaré (UGRHI – 13) watershed. Among the historical series of fluviatile data extension below three (3), it has been used for hydrological calculation the synthetic method of I-PAD-WU, with drainage areas from 2 to 200 km². The simulations which were done in this study show the advance of the urbanization process in the micro watershed of Cachoeirinha stream has a significant effect on the superficial flow coefficient in which the future application for the use and occupation of the soil reveals the influence of the urban condensation process on the growth of these flows (full and maximum) could be expressive.

Key words: urbanization, soil waterproofing, superficial flow coefficient, maximum drainage and I-PAI-WU project.

1. INTRODUÇÃO

O acelerado e desordenado processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas transformou os centros urbanos em áreas apresentando altas densidades populacionais, cujos efeitos negativos refletem diretamente sobre os recursos hídricos. O processo de desenvolvimento urbano no Brasil tem provocado uma pressão significativa sobre os recursos hídricos, tanto em fatores relacionados aos aspectos qualitativos (poluição das águas) como nos aspectos quantitativos (enchentes). As cidades foram crescendo, na maioria das vezes sem um planejamento adequado de ocupação, provocando assim, vários problemas que interferem na qualidade de vida do homem que vive nas cidades.

A urbanização acarreta a diminuição da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo, direcionando maior parcela de água pluvial a um escoamento superficial, dada a redução da infiltração, além de diminuir a recarga dos aquíferos. A consequência deste processo é um aumento nos volumes escoados e nas vazões de pico, ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração da água da chuva, provocando eventos de cheias cada vez mais críticos.

Neste sentido, o presente trabalho tem como premissa discutir a importância do planejamento prévio da ocupação urbana, sendo de essencial importância para alcançar êxito nas funções hidrológicas das bacias e/ou microbacias hidrográficas. Torna-se fundamental a realização de estudos que forneçam prognósticos, sobretudo em bacias a serem urbanizadas, como é o caso da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha, localizado no município de Lençóis Paulista, Estado de São Paulo. Assim, este estudo tem por finalidade o

entendimento dos processos hidrológicos em bacias hidrográficas com áreas urbanizadas ou a serem urbanizadas.

Estudos dos processos hidrológicos demonstram que a cobertura vegetal retém a maior parte da água precipitada através da infiltração da água no solo, drenagem vertical e percolação, diminuindo o escoamento superficial da água das chuvas e proporcionando ascensão do nível de água da zona não saturada e nível freático (RODRIGUES, 2011).

Vale ressaltar, que o presente trabalho procurou estudar o processo de urbanização, relacionando o escoamento superficial da água da chuva com as vazões de cheia e máxima da microbacia.

1.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo estudar a morfometria e as variáveis hidrológicas da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.

1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Mapear a microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha utilizando o Sistema de Informação Geográfico – SIG (mapa de uso do solo, declividade, área, perímetro, APP degradada ou perturbada e preservada, etc.);
- Realizar a análise morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha (forma, relevo, área, rede de drenagem, dentre outros aspectos); e
- Realizar a análise hidrológica da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha (tempo de concentração da água da chuva, coeficiente de escoamento superficial, intensidade-duração-frequência da chuva, e vazões de cheia e máxima).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O processo de urbanização e impactos nos recursos hídricos

A urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas. Este processo foi marcante no século XX. O Brasil cresceu de 90 para 190 milhões desde 1970 e a população urbana passou de 55 para 83%. Isto significa que 158 milhões de pessoas vivem nas cidades, ocupando 0,25 % do território brasileiro (TUCCI, 2005).

O aumento das áreas urbanizadas, e conseqüentemente impermeabilizadas, ocorreu, em geral, a partir das zonas mais baixas, próximas às várzeas dos rios ou à beira mar, em direção às colinas e morros, em face da necessária interação da população com os corpos hídricos, utilizados como fonte de alimento e dessedentação, além de transporte (CANHOLI, 2005).

O desenvolvimento urbano (urbanização) brasileiro vem produzindo um impacto significativo na infraestrutura de recursos hídricos. Um dos principais impactos tem ocorrido na drenagem urbana, na forma de aumento da frequência e magnitude das inundações e deterioração ambiental (TUCCI, 2002).

O crescimento das zonas urbanas tem provocado aumento da frequência e magnitude das cheias, resultado da impermeabilização de grandes áreas, implicando em maior escoamento superficial, menor perda por infiltração e na queda da capacidade de amortecimento natural das bacias hidrográficas (CRUZ *et al.*, 1999).

A urbanização está frequentemente associada à substituição de ambientes naturais ou seminaturais (solo, vegetação e recursos hídricos) por ambientes construídos e ao direcionamento das águas pluviais para os corpos d'águas adjacentes às redes de drenagem (HAUGHTON e HUNTER, 1994). Como consequência o movimento de águas superficiais (escoamento) aumenta, além de diminuir a recarga dos aquíferos (MENDIONDO *et al.*, 2004).

Essa modificação do meio natural pela implantação de um ambiente urbano resulta em alterações nos caminhos naturais da água das chuvas, que deixam de escoar por córregos temporários e passam a deslocar-se por tubos e canais subterrâneos ou abertos, denominados sistema de drenagem ou rede pluvial. Este sistema tem a tarefa de expulsar o volume de água que precipita sobre a área urbana da forma mais rápida e com menor risco possível (CRUZ *et al.*, 1999).

De acordo com Tucci e Collischonn (1998), na medida em que as cidades se urbanizam, em geral, ocorrem os seguintes impactos:

- a) aumento das vazões máximas (em até 7 vezes) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- b) aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e produção de resíduos sólidos; e
- c) deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Para Tucci e Genz (1995), na drenagem da bacia hidrográfica com áreas urbanas, devem-se utilizar medidas que busquem o controle do escoamento na fonte através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerada pelas superfícies impermeabilizadas.

O acelerado processo de urbanização das grandes cidades em todos os países, com urbanização de áreas de manancial, causando a impermeabilização do solo com asfalto, calçadas e construções, são os fatores responsáveis pelas enchentes e inundações. Portanto, a detenção da água das chuvas tem duas finalidades: a) amenizar as enchentes urbanas; e b) aumentar o reabastecimento do lençol freático (RODRIGUES *et al.*, 2011).

2.2. Ciclo hidrológico global e seus componentes

Para uma melhor compreensão do ciclo pode-se visualizá-lo como tendo início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Em determinadas condições, o vapor é condensado formando as nuvens, que por sua vez, podem resultar em precipitações. Esta ocorre sobre a terra e é dispersada de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoam sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios, enquanto que a outra parte, penetra profundamente no solo, suprimindo o lençol d'água subterrâneo (VILLELA e MATTOS, 1975), Figura 3.

O fluxo sobre a superfície terrestre é positivo (precipitação menos evaporação), resultando nas vazões dos rios em direção aos oceanos. O fluxo vertical dos oceanos é negativo, com maior evaporação que precipitação. O volume evaporado adicional se desloca para os continentes através do sistema de circulação da atmosfera e precipita, perfazendo o ciclo (TUCCI e SILVEIRA, 2001).

Os principais componentes deste ciclo são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas, a infiltração, a percolação e o escoamento superficial (TUNDISI, 2003), conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Ciclo da água e seus componentes.

Fonte: Science for a changing world. Disponível: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>

2.3. Bacia e microbacia hidrográfica

Bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus afluentes, sendo delimitada por linhas divisoras de água que demarcam seu contorno. Estas linhas são definidas pela conformação das curvas de nível e ligam os pontos mais altos do terreno em torno da drenagem considerada (BOTELHO, 1999), conforme apresentado na Figura 2 - ilustrativa.



Figura 2 – Bacia hidrográfica.

Fonte: CEDIBH – UFSC. Disponível: <http://www.caminhodasaguas.ufsc.br/perguntas-frequentes-2>

Bacia hidrográfica é, portanto, uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou por um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda a vazão efluente seja descarregada por uma simples saída (CARVALHO e SILVA, 2006).

Do ponto de vista hidrológico, ou seja, levando em conta o funcionamento hidrológico, bacias hidrográficas são classificadas em grandes e pequenas não apenas com base em sua superfície total, mas também nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. As microbacias apresentam, como características distintas, alta sensibilidade tanto

a chuvas de alta intensidade (curta duração), como ao fator uso do solo (cobertura vegetal) (LIMA, 1994).

Desta forma, define-se "microbacia" como sendo aquela cuja área é tão pequena que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não seja suprimida pelas características da rede de drenagem. De acordo com tal definição, a área de uma microbacia pode variar de pouco menos de 1 ha a até 40 ou mais hectares, podendo mesmo atingir, em algumas situações, até 100 ha ou mais (LIMA, 1994).

A figura 3 a seguir, ilustra uma bacia, sub-bacia e microbacias hidrográficas.

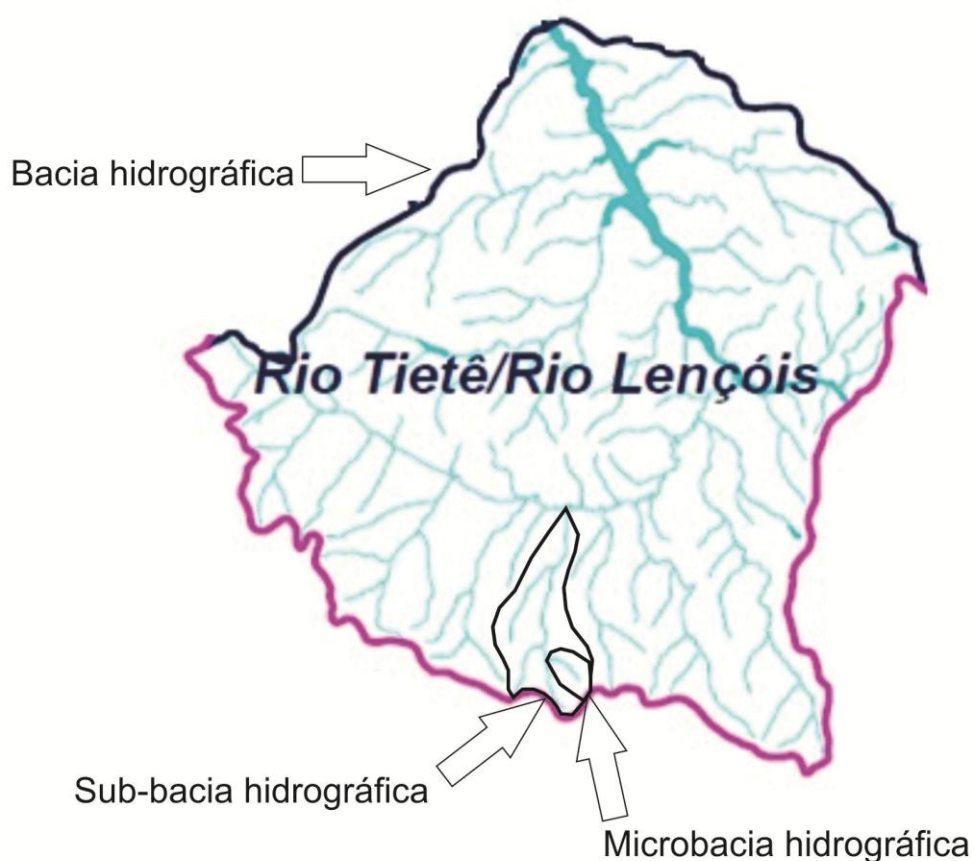


Figura 3 – Ilustração de bacia, sub-bacia e microbacia hidrográfica.

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (CBH – TJ), 2002 – modificado. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/AROS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1093/cap1a4pg1a17.pdf>

2.4. Impactos negativos em bacias hidrográficas e escoamento superficial da água da chuva

As alterações sobre o uso e manejo do solo nas bacias hidrográficas podem ser classificadas quanto ao tipo de mudança, tipo de uso da superfície e a forma como ocorreu a mudança (TUCCI e SILVEIRA, 2001), apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação das mudanças do uso do solo nas bacias hidrográficas

Classificação	Tipo
Mudança da superfície	<ul style="list-style-type: none">• Desmatamento• Reflorestamento• Impermeabilização
O uso da superfície	<ul style="list-style-type: none">• Urbanização• Reflorestamento para exploração sistemática• Desmatamento: extração de madeira e culturas anuais
Método de alteração	<ul style="list-style-type: none">• Queimada• Manual• Equipamentos

Fonte: Tucci e Silveira, 2001.

Essas alterações na superfície da bacia hidrográfica têm impactos significativos sobre o escoamento superficial. Esse impacto normalmente é caracterizado quanto ao efeito que provoca no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média, além das condições ambientais locais e a jusante (TUCCI e SILVEIRA, 2001).

O escoamento superficial da água da chuva pode ser dividido em dois componentes: o escoamento superficial direto (“surface runoff”) e o escoamento base ou subterrâneo. O escoamento superficial direto é gerado pelo excesso de precipitação que escoam sobre a superfície do solo, provocado pelo umedecimento do perfil do solo, principalmente a sua camada superior, reduzindo a sua capacidade de infiltração e conseqüentemente disponibilizando o excesso para formar o escoamento na superfície. Já O escoamento de base é aquele produzido pelo fluxo de água do aquífero livre, sendo importante do ponto de vista

ambiental, uma vez que refletirá a produção de água na bacia durante as estações secas (MELLO e MARCINO DA SILVA, 2008).

O escoamento superficial direto por apresentar uma resposta imediata após as chuvas está associado aos problemas de transporte de sedimentos, alteração da qualidade da água dos rios, inundações e enchentes (ARCOVA, 2006).

De acordo com Tucci (2005), o escoamento superficial de uma área pré-urbanizada para uma área urbanizada aumenta de 10% para 40% dos 100% precipitados (Figura 4). Estes resultados estão relacionados à impermeabilização de grandes áreas, maior escoamento superficial da água da chuva, menor perda por infiltração e na queda da capacidade de amortecimento natural das bacias hidrográficas.

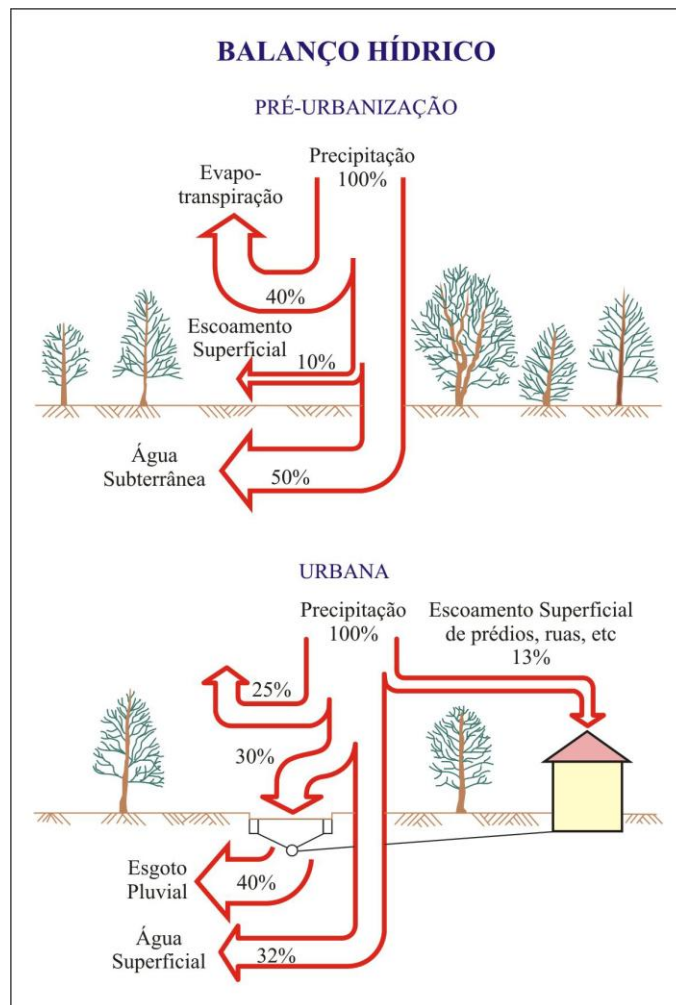


Figura 4 – Balanço hídrico nas situações pré-urbanizada e urbanizada.

Fonte: Tucci (2005).

Na Figura 4 observa-se que além do aumento do escoamento superficial, a evapotranspiração e as águas subterrâneas devido à urbanização diminuem de 40% para 25% e de 50% para 32%, respectivamente.

Há diversos estudos sobre o escoamento superficial da água das chuvas relacionado à rugosidade do solo. Neste sentido, Rodrigues (2011) ressalta a importância dos modelos de simulação de chuva, no monitoramento dos processos hidrológico, pois são utilizados de forma didática para um maior entendimento do comportamento das águas superficial e subterrânea em ambientes com e sem vegetação.

2.5. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento

O conceito de bacia hidrográfica está associado à noção de sistemas, nascentes, divisor de águas, cursos de águas hierarquizados e foz. Assim, os fenômenos que ocorrem dentro de uma bacia, sejam eles de origem natural ou antrópico, interferem na dinâmica do sistema, na quantidade e qualidade dos cursos d'água. As medidas de algumas de suas variáveis (solo, clima, vegetação, uso do solo, declividade, entre outros), permitem compreender a soma desses fenômenos (MATTOS JR., 2010). Para Santos (2004), esse é um dos aspectos que leva os planejadores a escolherem a bacia hidrográfica e/ou microbacias como uma unidade de gestão, bem como, por ser um sistema natural bem delimitado no espaço, onde as interações físicas são integradas e, portanto, mais fáceis de serem compreendidas, espacializadas e caracterizadas.

Segundo Silva *et al.* (2008), em função de suas características naturais, bacias hidrográficas têm se tornado importante unidade espacial utilizada para gerenciar atividades de uso e conservação dos recursos naturais, principalmente nas situações atuais de grande pressão sobre o ambiente em função do crescimento populacional e do desenvolvimento.

O Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) adotou para o Estado de São Paulo vinte e duas (22) bacias hidrográficas como unidade físico - territorial de planejamento e gerenciamento, tendo como finalidade a proteção ambiental dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do território paulista.

A Figura 5 apresenta o mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos para o Estado de São Paulo.

tipo de estudo geomorfológico (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros aspectos) foi introduzido por Horton (1945), visando entender a configuração e a evolução das bacias e de suas redes de drenagem (CHEREM, 2008).

Para Vilella e Mattos (1975), 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 (1970) 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.

Em conformidade com Tonello *et al.* (2006), para estudos das interações entre os processos, do ponto de vista quantitativo, deve-se analisar os seguintes parâmetros: densidade de drenagem, coeficiente de compactidade, índice de circularidade, forma da bacia, dentre outros (ALVES e CASTRO, 2003; GUERRA e GUERRA, 2003; e POLITANO e PISSARRA, 2003). Esses parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais (ALVES e CASTRO, 2003).

Assim, a morfometria da microbacia hidrográfica é uma importante ferramenta de diagnóstico da suscetibilidade à degradação ambiental através da descrição de parâmetros morfológicos (RODRIGUES, 2004; PISSARRA *et al.*, 2004). Os resultados norteiam o planejamento, o manejo e a implementação de medidas mitigadoras para conservação dos recursos naturais (RODRIGUES, 2004; SANTOS e SOBREIRA, 2008; MOREIRA e RODRIGUES, 2010).

Nas últimas décadas, observa-se uma evolução extraordinária no campo de análise do ambiente utilizando informações obtidas de sensores remotos e sistemas de informação geográfica (GARCIA, 1982; NOVO, 1989). Um grande número de pesquisadores utilizam interpretações de imagens para fins de análise morfométrica em bacias hidrográficas, testando critérios para caracterização de solos e rede de drenagem em sistemas de informações geográficas (POLITANO *et al.*, 2003; PISSARRA *et al.*, 2004).

2.7. Análise hidrológica de bacias hidrográficas

Estudos hidrológicos de bacias hidrográficas têm por objetivo quantificar a vazão de cheia e, conseqüentemente a vazão máxima (enchente). Para a aplicação da metodologia adequada, deve-se verificar a extensão da série histórica de dados fluviométricos existente, e também, se necessário, o tamanho da área de drenagem da bacia em estudo (DAEE, 2005), conforme a seguinte classificação (Figura 6):

- Extensão da série histórica de dados fluviométricos superior a 3 anos:
 - Método CTH (3 a 10 anos), empírico: baseia-se na técnica do hidrograma unitário;
 - Método Gradex (10 a 25 anos): correlaciona resultado da análise de frequência de dados de precipitações intensas e de vazões máximas;
 - Método Estatístico (>25 anos): emprega análise estatística com ajuste de distribuições de probabilidade à série de dados.
- Extensão da série histórica de dados fluviométricos inferior a 3 anos:

Métodos sintéticos:

- Método Racional (área de drenagem inferior a 2 km²);
- Método I-PAI-WU (área de drenagem de 2 a 200 km²);
- Método Prof. Kokei Uehara (área de drenagem de 200 a 600 km²); e
- Hidrograma Unitário – Propagação (área de drenagem superior a 600 km²).

Modelos matemáticos de simulação de ondas de cheias:

- CAbc ou ABC 6 (área de drenagem superior a 2 km²).

Na Figura 6 é apresentado o diagrama das metodologias adotadas para estimativa de vazões de enchente.

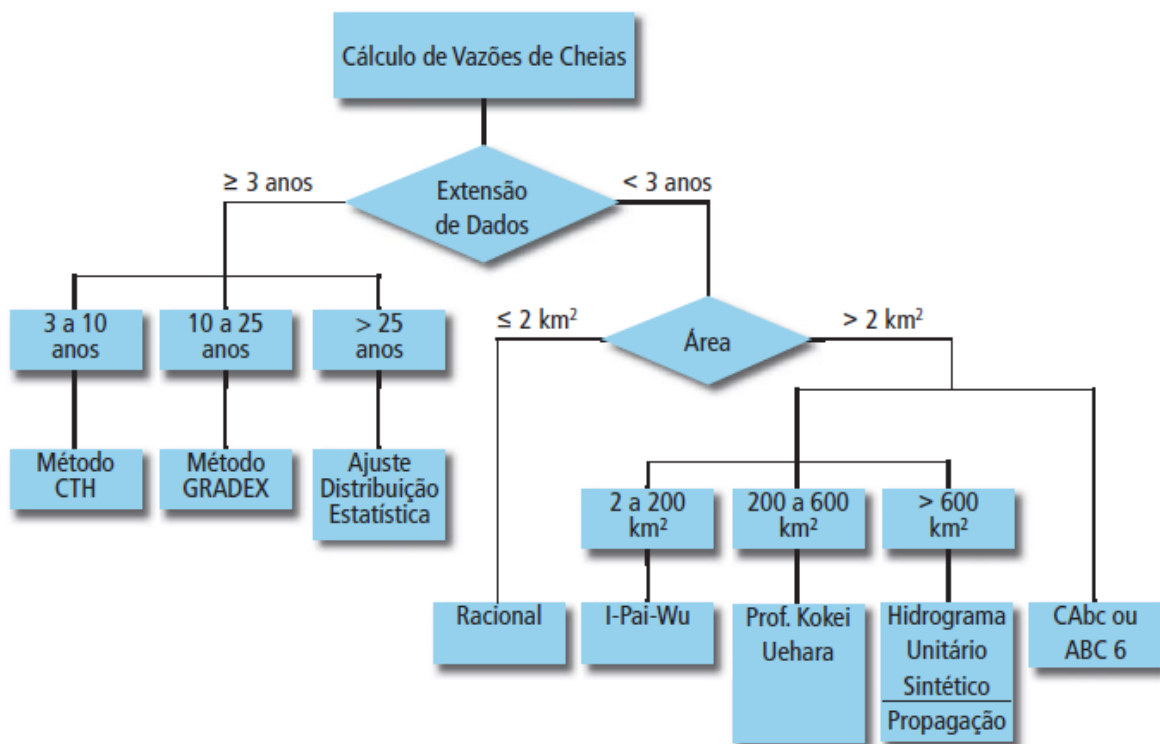


Figura 6 – Diagrama das metodologias adotadas para estimativa de vazões de enchente.

Fonte: DAEE (2005). <http://www.daee.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/guia/capitulo01.pdf>

Dentre as metodologias de extensão da série histórica de dados fluviométricos inferior a 3 anos, foi utilizado para os cálculos hidrológicos da microbacia o método sintético de I-PAI-WU. Trata-se de uma equação relativamente simples, mas o mau ajuste dos parâmetros utilizados pode distorcer os valores gerados.

Segundo Wu (1963), este método constitui-se num aprimoramento do método racional, podendo ser aplicado para bacias com áreas de drenagem de 2 a 200 km². Esta metodologia de cálculo utiliza-se do fator de forma da bacia, que levam em conta o comprimento do talvegue e a área da bacia (LUZ, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do Município de Lençóis Paulista

Lençóis Paulista está localizado no Centro-Oeste do Estado de São Paulo, na latitude 22°35'55" Sul e longitude 48°48'01" Oeste, e projeções UTM X= 709000 e 740500 e Y= 7471300 e 7512110, apresentando altitude média de 550 metros, acima do nível do mar, com área territorial de 808 km², população de 62 mil habitantes (IBGE, 2011) e faz divisa com os Municípios de Areiópolis, São Manuel, Borebi, Avaré, Pratânia, Macatuba, Pederneiras e Agudos. Sua principal via de acesso é a Rodovia Marechal Rondon (SP-300).

Na Figura 7, observa-se a localização do município de Lençóis Paulista no Estado de São Paulo.



Figura 7 - Localização do Município de Lençóis Paulista no Estado de São Paulo.

Fonte: Prefeitura Municipal de Lençóis Paulista (2010).

3.2. Caracterização ambiental da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha

3.2.1. Localização da microbacia hidrográfica

A microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha está localizada no Município de Lençóis Paulista e inserida entre as projeções UTM N: 7.492.000 e 7.500.000 m e UTM E: 726.000 e 730.000 m, fuso 22 K, encontrando-se a uma altitude de 517 a 646 m, acima do nível do mar. Ocupa uma área de 15,71 km², sendo integrante da 13^o Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI), bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré (UGRHI – 13).

Na Figura 8 é apresentada imagem aérea com a localização da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha no município de Lençóis Paulista - SP.

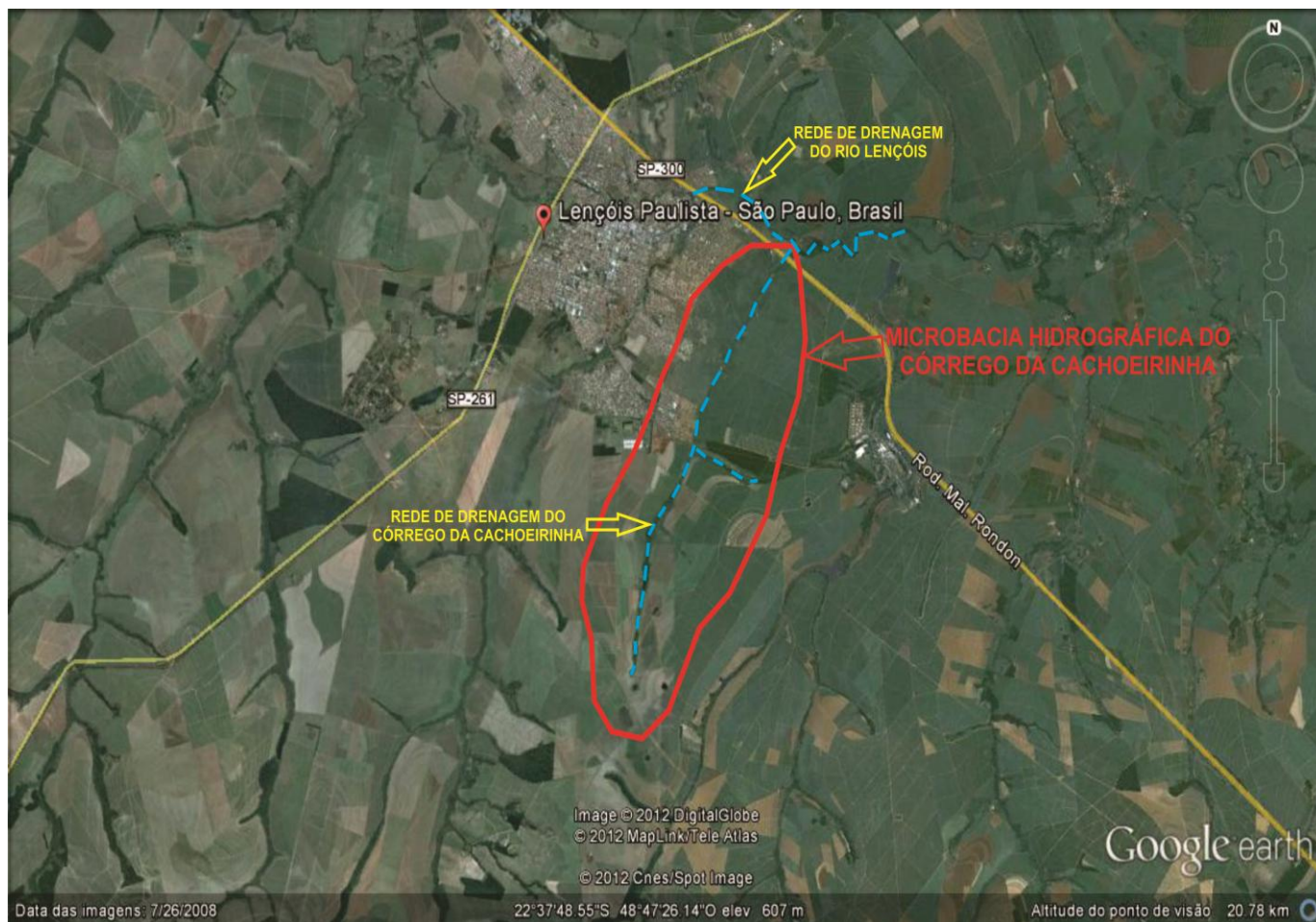


Figura 8 - Localização do córrego da Cachoeirinha no Município de Lençóis Paulista.

Fonte: Google Earth modificado.

3.2.2. Aspectos do meio físico do Município de Lençóis Paulista

3.2.2.1. Clima

O Município de Lençóis Paulista está localizado na zona considerada como mesotérmico ou tropical de altitude, no domínio de clima Cwa, da classificação de Koeppen. Esta classificação é caracterizada por possuir clima quente com inverno seco, no qual a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C (BUFON, 2002).

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 a agosto. A precipitação média anual apresenta valor 1.582 mm e a temperatura média é de 22,56°C (ASCANA, 2008).

3.2.2.2. Recursos hídricos superficiais

De acordo com o mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos – UGRHI do Estado de São Paulo, Lençóis Paulista encontra-se em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), na Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (UGRHI-13) e na Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17). Sendo que a primeira encontra-se na porção norte e central do município, e a segunda na porção sul, respectivamente.

A Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (UGRHI-13) possui uma área total de 15.808 km² e apresenta limites com as UGRHI-05 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí), UGRHI-10 (Tietê/Sorocaba), UGRHI-17 (Médio Paranapanema), UGRHI-16 (Tietê/Batalha) e UGRHI-09 (Mogi Guaçu). Esta UGRHI é definida pelas bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira e seus tributários, além de porções de áreas drenadas diretamente para o Rio Tietê, no trecho situado entre a Usina Hidrelétrica de Ibitinga, à jusante, e a Usina de Barra Bonita, a montante, e abrange 37 municípios.

As Figuras 9 e 10 mostram a rede de drenagem da UGRHI -13 (Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré) e a localização do Município de Lençóis Paulista na UGRHI, respectivamente.

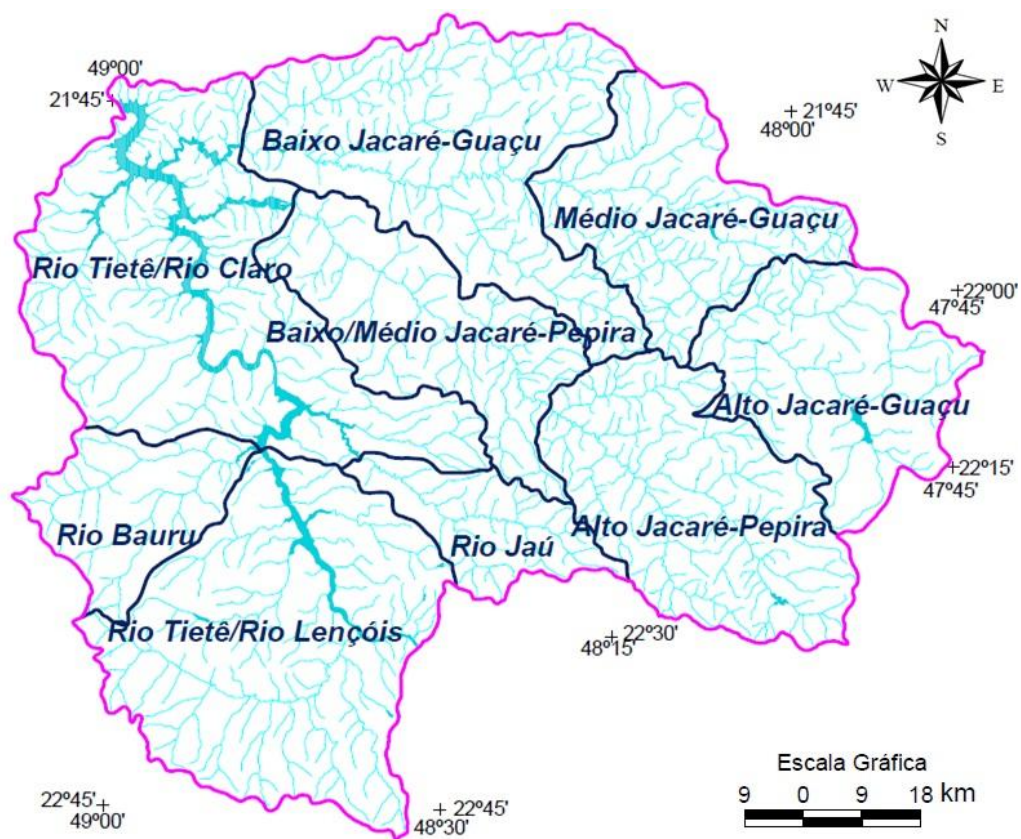


Figura 9 - Rede de drenagem e sub-bacias da UGRHI - 13.

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (CBH – TJ), 2002. . Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1093/cap1a4pg1a17.pdf>

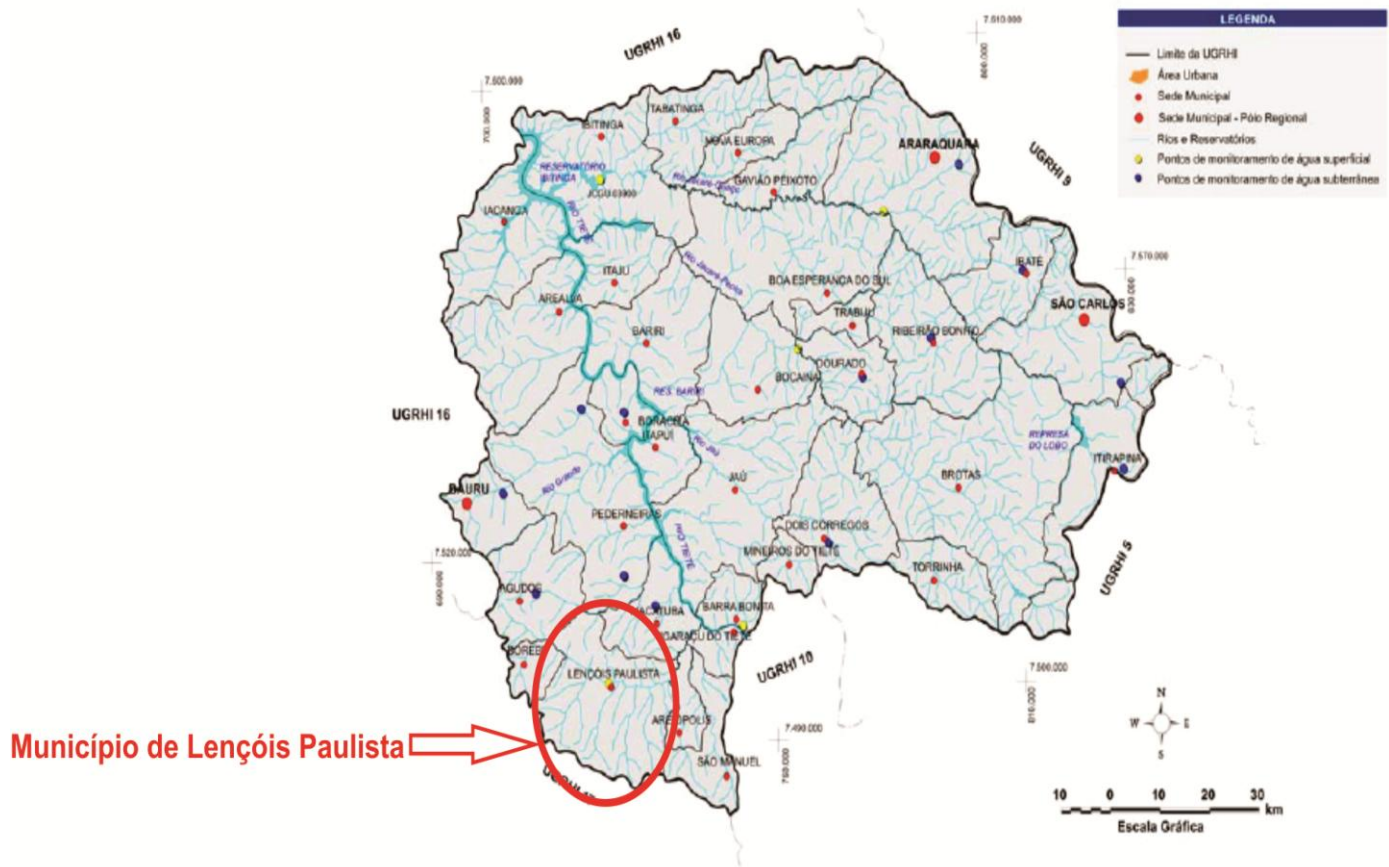


Figura 10 - Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré, destacando o Município de Lençóis Paulista.

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (CBH – TJ), 2009. Disponível em: [http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca\[0\].pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca[0].pdf)

Crítica em termos de disponibilidade hídrica superficial, esta UGRHI apresenta demandas elevadas devido à irrigação e ao setor sucroalcooleiro, notadamente nas Sub-bacias do Médio Jacaré-Guaçu e Rio Tietê/Rio Lençóis.

3.2.2.3. Recursos hídricos subterrâneos e unidades geológicas

Segundo CBH – TJ (2009), na UGRHI 13, os recursos hídricos subterrâneos ocorrem em um sistema formado por 4 aquíferos: o Cenozóico; o Bauru; o Serra Geral e o Guarani. A Tabela 2 mostra a unidade geológica a que pertence cada aquífero, bem como as

características hidrogeológicas de cada um. De acordo com os cálculos realizados no Plano de Bacia da UGRHI Tietê/Jacaré, a disponibilidade hídrica subterrânea é estimada em 10,58 m³/s.

Tabela 2: Aspectos hidrogeológicos da UGRHI 13.

Aqüífero	Unidade Geológica	Características Hidrogeológicas
Cenozóico	Formação Itaqueri, coberturas da Serra de São Carlos e similares	Extensão limitada, porosidade granular; livre, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Bauru	Grupo Bauru (Formação Vale do Rio do Peixe)	Extensão regional, porosidade granular, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Serra Geral	Formação Serra Geral	Extensão regional com caráter eventual, porosidade por fraturas, livre a semiconfinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Guarani	Formações Pirambóia e Botucatu	Extensão regional porosidade granular, livre, contínuo, homogêneo, isotrópico
	Formações Pirambóia e Botucatu	Extensão regional porosidade granular, confinado, contínuo, homogêneo, isotrópico

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (CBH – TJ), 2009. Disponível em: [http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca\[0\].pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca[0].pdf)

3.2.2.4. Solo

O principal tipo de solo que ocorre no Município de Lençóis Paulista é classificado como sendo do tipo Latossolo vermelho-amarelo. Os latossolos são de coloração vermelha escura a amarela, profundos, possuem aspecto maciço poroso, mas são altamente friáveis quando úmidos, com textura variável, muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes e baixa capacidade de troca catiônica e bem drenados (SOUSA; LOBATO, 2011).

A Figura 11 apresenta a Base de Solos no Estado de São Paulo.

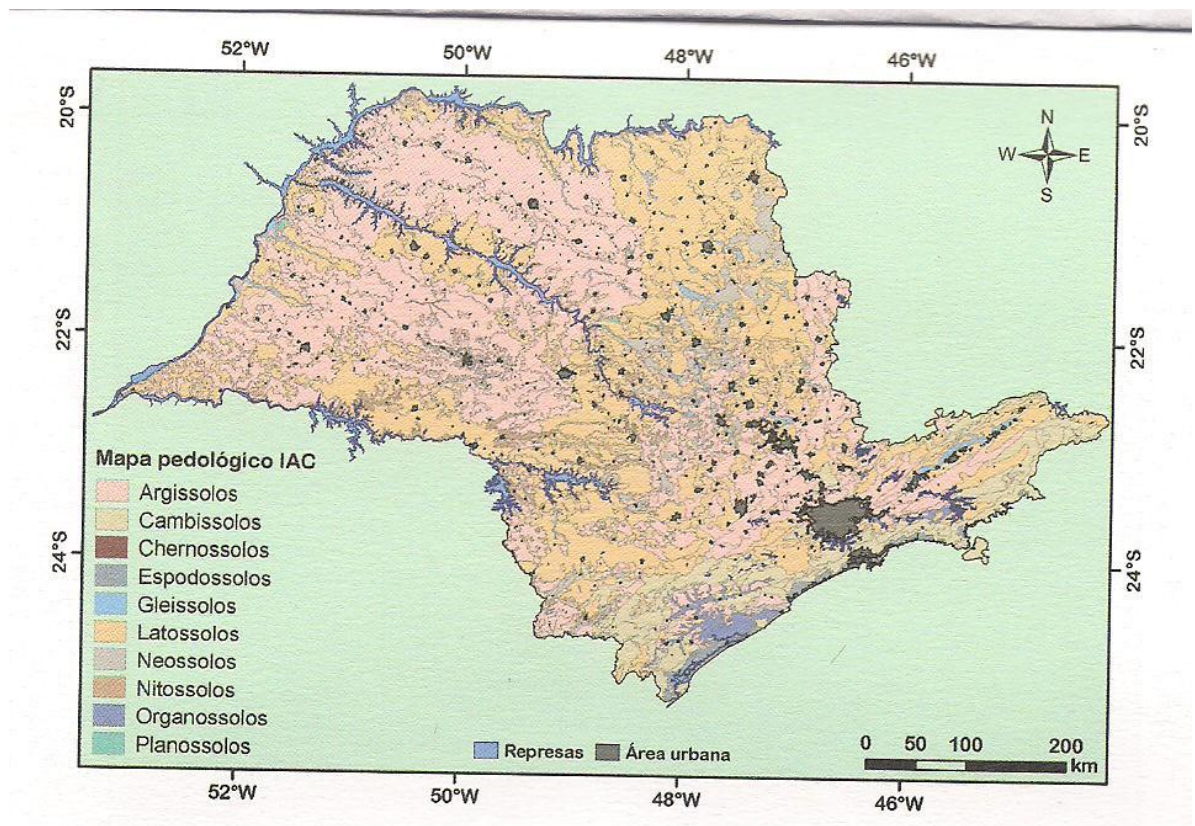


Figura 11 - Base de Solos no Estado de São Paulo.

Fonte: Secretaria de Estado do Meio Ambiente (2009).

3.2.3. Aspectos do meio biológico do Município de Lençóis Paulista

3.2.3.1. Vegetação natural

A caracterização da cobertura vegetal ocorrente no Município de Lençóis Paulista foi realizada com base em levantamento bibliográfico, imagens de satélite e incursões a campo.

De acordo com o Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2004), a região de Lençóis Paulista encontra-se numa Área de Tensão Ecológica, ou seja, onde existe contato entre tipos de vegetação que podem ocorrer na forma de ecótono, quando a transição se dá por uma mistura florística, ou na forma de enclave quando existe uma transição edáfica havendo uma interpenetração dos tipos de vegetação.

A Área de Tensão Ecológica em questão constitui-se pelo contato Cerrado / Floresta Estacional, onde está inserida a região do município de Lençóis Paulista, conforme apresentado na Figura 12.



- Região do município de Lençóis Paulista
- Bioma Cerrado
- SN – Contato Savana / Floresta Estacional
- S – Savana

Figura 12 - Mapa de Biomas do Brasil, região do Município de Lençóis Paulista.

Fonte: IBGE (2004). Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/

Em conformidade com o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004), o Município de Lençóis Paulista encontra-se inserido em área de vegetação característica de

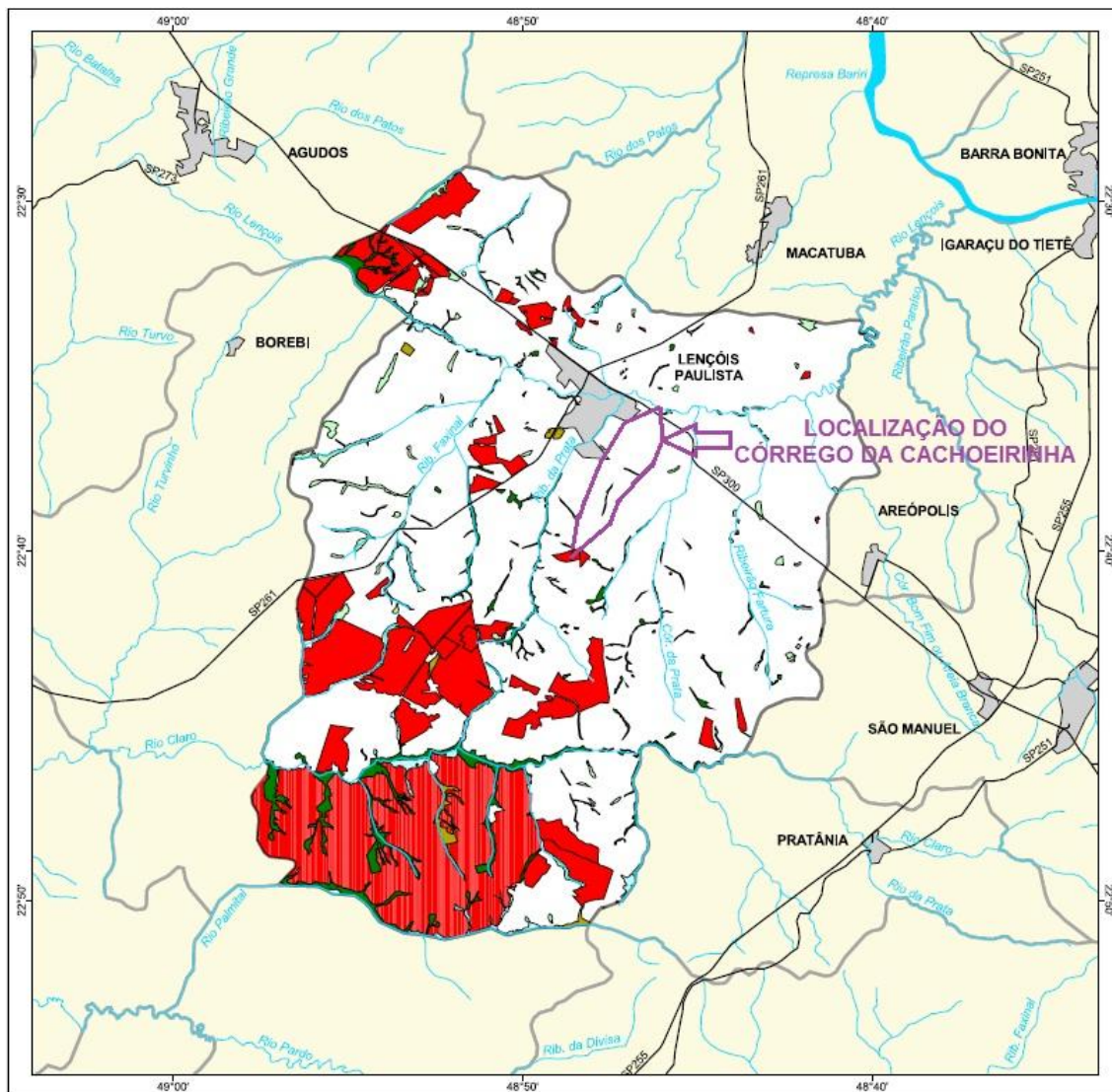
cerrado, porém com cobertura vegetal antropizada devido à expansão das atividades agrícolas nos últimos anos, como pode ser constatado na Figura 13.



Figura 13 - Mapa de Vegetação do Brasil, região do Município de Lençóis Paulista.

Fonte: IBGE (2004). Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/

Segundo o Inventário Florestal do Estado de São Paulo (SMA, 2005), a cobertura vegetal ocorrente na região da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha é considerada antropizada devido à expansão das atividades agrícolas, conforme pode ser observado na Figura 14.



- cobertura vegetal**
- mata
 - capoeira
 - cerrado
 - cerrado
 - campo cerrado
 - campo
 - vegetação de várzea
 - mangue
 - restinga
 - vegetação não identificada
 - reflorestamento

- curso d'água
- represa
- limite municipal
- vias de circulação
- área urbana
- Unidade de Conservação

Cobertura Vegetal	área (ha)	% *
mata	2.069,51	2,56
capoeira	1.337,72	1,66
cerrado	271,05	0,34
vegetação de várzea	404,08	0,50
TOTAL	4.082,36	5,05
reflorestamento	17.788,49	22,02

* (em relação a área do município)
área do município: 80.800 ha

Localização no Estado de São Paulo
Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos



1:240.000

Figura 14 - Mapa florestal do Município de Lençóis Paulista.

Fonte: SMA,

2005.

Disponível

em:

<http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/estadosaopaulo/lencoispaulista.pdf?opcoes=estadosaopaulo%2Flencoispaulista.pdf>

3.3. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha

3.3.1. Delimitação do divisor de águas

Para a delimitação da microbacia hidrográfica e das tomadas de cotas do córrego da cachoeirinha foi utilizado como material básico a carta topográfica digitalizada do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1973, na escala 1:50.000, com equidistância vertical entre as curvas de nível de 20 metros¹.

3.3.2. Parâmetros dimensionais da microbacia

Os parâmetros dimensionais, como maior comprimento da microbacia, comprimento total da rede de drenagem e de seus tributários, comprimento do canal principal e perímetro da microbacia que corresponde ao comprimento da linha do divisor de águas que circunda a microbacia, foram obtidos através do curvímeter da marca OREGON SCIENTIFIC e dos *softwares* AUTOCAD 2010 e do sistema de informação geográfica ArcGIS 9.3.2.

Através do planímetro digital da marca PLACON KP – 80 N e dos *softwares* AUTOCAD 2010 e do sistema de informação geográfica ArcGIS 9.3.2. foi obtida a área da microbacia, corresponde a área circunscrita pela linha do divisor de águas que delimita a microbacia.

3.3.3. Caracterização da ordem

A ordem da microbacia foi obtida segundo o sistema de Strahler (1957), que modificou o sistema de classificação de rios de Horton (1945), introduzindo o conceito de segmento de rio. A junção de dois tributários de primeira ordem (w_1) origina um segmento de segunda ordem (w_2) e a união destes um segmento de terceira ordem (w_3) e assim, sucessivamente. A junção de dois canais de ordens diferentes permanecerá na mesma ordem (MOREIRA e RODRIGUES, 2010).

¹ Fonte: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistemico/topograficos/escala_50mil/pdf/lencois_paulista27341.pdf

3.3.4. Caracterização da drenagem na microbacia

A caracterização da drenagem na microbacia foi analisada segundo suas características quantitativas, conforme a metodologia sugerida por Horton (1945).

3.3.4.1. Densidade de drenagem

A densidade de drenagem (Dd) é a relação entre o comprimento total de rios da bacia (Cr) e sua respectiva área (A), conforme equação abaixo.

$$Dd = \frac{Cr}{A}$$

A unidade de medida desta equação é em km de rios por km².

De acordo com França (1968), densidade de drenagem pode ser classificada em quatro classes de interpretação, descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Classes de interpretação para os valores da densidade de drenagem.

Dd (valores)	Interpretação Ambiental	Interpretação Ambiental
< 1,5	Baixa	Microbacia hidrográfica com baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,50 – 2,5	Média	Microbacia hidrográfica com tendência mediana de escoamento superficial
2,5 – 3,0	Alta	Microbacia hidrográfica com alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
> 3,0	Super alta	Microbacia hidrográfica com alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão.

Fonte: Adaptado de França, 1968.

3.3.4.2. Densidade hidrográfica

A densidade hidrográfica (Dh) é a relação existente entre o número de rios ou canais e a área da microbacia, sendo expressa pela equação:

$$Dh = \frac{N}{A}$$

Em que D_h é a densidade hidrográfica em (km²), N é o número total de rios e A é a área da microbacia hidrográfica (km²).

3.3.4.3. Frequência de rios

A frequência de rios (Fr) da microbacia hidrográfica foi calculada a partir da seguinte equação.

$$Fr = \frac{Nw1}{A}$$

Onde:

Fr = Frequência de rios (Segmentos de rios de 1 ordem por quilometro quadrado de área);

$Nw1$ = número total de segmentos de rios de 1º ordem;

A = Área da microbacia em Km².

3.3.4.4. Extensão do percurso superficial

A extensão do percurso superficial (Eps), expressa em metros, representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. O resultado obtido também serve para caracterizar a textura topográfica calculada pela equação de Christofolletti (1969).

$$Eps = \left[\frac{1}{(2 \times Dd)} \right]$$

A densidade de drenagem é expressa em m/m².

Com baixa densidade de drenagem maior será a distância do percurso da água, indicando maior comprimento do caminho percorrido pelas águas pluviais antes de se estabilizarem ao longo de um canal, portanto, maior tempo de concentração da água da enxurrada, o que aumenta a tendência de conservação da microbacia. Com alta densidade de drenagem menor será o comprimento percorrido pelas águas pluviais até o canal, com isso menor tempo de concentração da água da enxurrada, diminuindo a tendência de conservação (MOREIRA e RODRIGUES, 2010).

3.3.4.5. Índice de Sinuosidade

O índice de Sinuosidade (Is) do segmento do canal principal relaciona o comprimento verdadeiro do canal na projeção ortogonal com a distância vetorial, comprimento em linha reta entre dois extremos do canal principal. O índice de sinuosidade foi calculado através da expressão:

$$Is = \left(\frac{Ccp}{dv} \right)$$

Onde:

IS= Índice de sinuosidade;

Ccp = Comprimento do canal principal (km); e

dv= Distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal (km).

Os valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores tortuosos indicam formas transicionais, regulares e irregulares (MOREIRA e RODRIGUES, 2010).

3.3.5. Caracterização do relevo quanto à forma da microbacia

3.3.5.1. Fator de forma

O fator de forma (Ff) da microbacia hidrográfica foi obtido através da equação sugerida pelo DAEE:

$$Ff = \left(\frac{L}{2 \times \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0,5}} \right)$$

Onde:

Ff = Fator de forma;

L = Comprimento do talvegue (Km); e

A = Área da bacia de contribuição (Km²).

A interpretação dos resultados obtidos no fator forma pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Valores e interpretações dos resultados para o fator forma (Ff).

Ff	Formato da Bacia Hidrográfica	Interpretação Ambiental
1,00 - 0,75	Redonda	Microbacia hidrográfica com alta tendência a enchentes
0,75 - 0,50	Ovalada	Microbacia hidrográfica com tendência mediana a enchentes
0,50 - 0,30	Longa	Microbacia hidrográfica microbacia com baixa tendência a enchentes
<0,30	Comprida	Microbacia hidrográfica com tendência a conservação

Fonte: Adaptado de Villela & Matos (1975).

3.3.5.2. Coeficiente de compacidade

O coeficiente de compacidade (Kc) constitui a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de uma circunferência de área igual à da bacia. Uma bacia será mais susceptível à enchentes quando seu Kc for mais próximo da unidade. O Kc foi determinado segundo a equação abaixo:

$$Kc = 0,28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Onde:

P = Perímetro da microbacia (km); e

A = Área da microbacia (km²).

O formato e a interpretação dos resultados podem ser interpretados através da Tabela 5.

Tabela 5: Valores para interpretação dos resultados do coeficiente de compacidade (Kc).

Kc (valores)	Formato da bacia hidrográfica	Interpretação Ambiental
1,00 – 1,25	Redonda	Microbacia hidrográfica com alta tendência a enchentes
1,25 – 1,50	Ovalada	Microbacia hidrográfica com tendência mediana a enchentes
1,50 – 1,70	Longa	Microbacia hidrográfica com baixa tendência a enchentes
> 1,70	Comprida	Microbacia hidrográfica com tendência a conservação.

Fonte: Adaptado de Villela & Matos (1975).

3.3.5.3. Índice de Circularidade

O Índice de Circularidade (Ic), também denominado por alguns autores como Índice de Forma, representa a relação existente entre o perímetro e a área da bacia. O número calculado independente da área considerada, dependendo apenas da forma da bacia. O menor valor possível a ser encontrado é 1,0, o que corresponderia a uma bacia circular. Esse parâmetro influencia a determinação do débito (vazão) e a intensidade de escoamento (SILVA *et al.*, 2004). O Índice de Circularidade foi determinado de acordo com a equação de Miller (1953), *apud* Christofolletti (1974)², expresso pela equação:

$$Ic = 12,57 \times \left(\frac{A}{P^2} \right)$$

Em que:

Ic = Índice de circularidade (km/km);

P = Perímetro da bacia (km); e

A = Área da microbacia (km²).

2 CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo. Ed. Edgard Blucher Ltda. 1974.

3.3.5.4. Gradiente de canais

Gradiente de canais (G_c) é a relação entre a altitude máxima e o comprimento do canal principal. Esse índice expressa a relação entre a cota máxima e o comprimento do canal principal através da equação:

$$G_c = \left(\frac{AM}{C_{cp}} \right) \times 100$$

Sendo:

G_c = Gradiente de canais em porcentagem;

AM = Altitude máxima (m); e

C_{cp} = Comprimento do canal principal (m).

A finalidade do gradiente de canais é indicar a declividade dos cursos d'água (HORTON, 1945).

3.3.5.5. Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção é um índice que visa calcular a área mínima que a bacia precisa dispor para a manutenção de um metro de canal fluvial, sendo seu resultado indicado em m^2/m . Christofolletti (1969) ressalta a importância de aplicar esse índice, tendo uma ligação com os canais de primeira ordem, que são os fornecedores da água que mantém o canal principal. Esse dado permite representar qual seria a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene, possibilitando raciocinar sobre o balanço hidrodinâmico da área.

$$C_m = \left(\frac{1}{D_d} \right) \times 1000$$

Onde:

D_d = Densidade de drenagem (k/km^2)

3.3.6. Caracterização do relevo

Em conformidade com Wisler e Brater (1964), o relevo foi estudado analiticamente através dos parâmetros:

3.3.6.1. Declividade média

A declividade média da microbacia foi calculada através da seguinte equação:

$$D\% = \left(\frac{\sum Cn \times DH}{A} \right) \times 100$$

Onde:

D = Declividade (%);

Cn = somatória do comprimento das curvas de nível ($\sum Cn$);

DH = Equidistância entre as cotas; e

A = Área da microbacia.

Na Tabela 6 é apresenta as classes de declividade e tipos de relevo.

Tabela 6: Classes de declividade e tipo de relevo.

Declividade (%)	Tipo de relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte ondulado
45 – 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (1999) – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

A magnitude dos picos de enchente e de infiltração de água, trazendo como consequência maior ou menor grau de erosão, dependem da declividade média da bacia (que determina a maior ou menor velocidade de escoamento da água superficial), associada à cobertura vegetal e tipos de solos e usos da terra (ROCHA, 1999).

3.3.6.2. Declividade equivalente do talvegue

Para o cálculo da declividade equivalente obteve-se o perfil longitudinal do talvegue, desde o ponto mais distante até a seção de estudo, sendo as informações levantadas referentes às distâncias horizontais e o desnível. Assim, calculou-se o desnível para cada trecho da bacia, conforme metodologia citada pelo DAEE (2005).

A declividade equivalente do trecho do talvegue entre a seção de estudo e o ponto mais distante do divisor de águas é calculado por meio da equação:

$$I_{eq} = \left(\frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{J_1}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{J_n}}} \right)$$

Onde:

I_{eq} = declividade equivalente (m/km);

$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ = comprimento do talvegue;

Já a declividade de cada trecho foi obtida pela equação que se segue:

$$J_n = \frac{h_n}{L_n}$$

J = declividade (m/km) de cada trecho.

3.3.6.3. Altitude média

A altitude média da microbacia (H_m) foi obtida através da média aritmética entre os valores de maior altitude (AM) observada na cabeceira e a menor altitude (A_m) na foz ou desembocadura.

3.3.6.4. Amplitude altimétrica

A amplitude altimétrica (H) é a diferença entre a maior e a menor altitude da microbacia e expressa em metros:

$$H = (AM - A_m)$$

3.3.6.5. Razão do relevo

A razão de relevo de acordo com Schumm (1956), é a relação entre a diferença de altitude dos pontos extremos da microbacia e o seu maior comprimento, que corresponde a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas, determinado pela equação apresentada abaixo.

$$Rr = \frac{H}{C}$$

Onde:

Rr = razão de relevo;

H = amplitude altimétrica (m); e

C = comprimento da microbacia (m).

A razão de relevo permite comparar a altimetria das regiões, demonstrando que, quanto maiores os valores, mais acidentado é o relevo predominante na região e maior será o escoamento superficial direto da água das chuvas, o que reflete numa menor relação de infiltração, provocando assim, erosão. A razão de relevo indica a declive total ou declividade geral da microbacia (STRAHLER, 1957).

Piedade (1980) classificou a razão de relevo em três classes: baixa, média e alta, sendo a razão de relevo baixa entre (0 a 0,1), a razão de relevo média entre (0,11 a 0,30) e razão de relevo alta (0,31 a 0,60).

3.3.6.6. Coeficiente de rugosidade

O uso do coeficiente de rugosidade orienta a atividade a ser desenvolvida de acordo com o uso potencial da terra. Deste modo, Pereira Filho (1986), afirma que a capacidade de uso da terra e o coeficiente de rugosidade se equivalem em quase a totalidade dos casos e, propôs que se substitua a capacidade de uso da terra pelo coeficiente Rn, que é um método mais rápido e preciso na determinação do uso potencial das terras rurais em bacias hidrográficas.

Para Rocha (1997), o coeficiente de rugosidade (Rn) deve ser calculado através da fórmula:

$$Rn = Dd \times D\%$$

Onde:

Rn = Coeficiente de rugosidade;

Dd = Densidade de drenagem (km/km²); e

D% = Declividade média (%).

No cálculo do coeficiente de rugosidade considerou-se a classificação apresentada por Rocha (1997). Onde os coeficientes de rugosidade estão distribuídos em quatro classes: A, B, C, D, com terras propícias respectivamente para: agricultura; pastagens; pastagens/reflorestamento; e somente reflorestamento, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Classes de usos dos solos de acordo com o coeficiente de rugosidade.

Coeficiente de rugosidade	Classes	Terras propícias
1,09 - 10,63	A	Agricultura
10,64 - 20,18	B	Pastagem
20,19 - 29,73	C	pastagem/reflorestamento
29,74 - 39,28	D	Reflorestamento

Fonte: Rocha (1997).

3.4. Análise hidrológica da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha

Conforme mencionado anteriormente, para a análise hidrológica da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha utilizou-se da extensão da série histórica de dados fluviométricos inferior a 3 anos.

Dentre as metodologias de extensão da série histórica de dados fluviométricos inferior a 3 anos, foi utilizado para os cálculos hidrológicos da microbacia o método sintético de I-PAI-WU, com áreas de drenagem de 2 a 200 Km², uma vez que a microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha apresenta área de drenagem de 15,71 km².

3.4.1. Período de retorno

O período de retorno também chamado de tempo de retorno é definido como sendo o valor esperado (média) do intervalo entre dois eventos críticos. Quando se trata de variáveis hidrológicas, relacionadas a enchentes, o evento crítico é a ocorrência de uma chuva ou vazão superior a um valor preestabelecido (CHOW *et al.*, 1988).

O tempo de retorno é definido em função do tipo de obra, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Tempo de retorno em função do tipo de obra.

Tipo da Obra	Tempo de Recorrência (anos)
Extravasador de uma barragem de terra	10000
Extravasador de uma barragem galgável de concreto	1000
Barragens de concreto, pequenas, para abastecimento de água	100 a 500
Galeria de águas pluviais	5 a 20

Fonte: Franco (2004).

Para obras de drenagem urbana o DAEE e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), estabelece o uso dos tempos de retorno em função da ocupação da obra, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Tempo de retorno em função do tipo de obra.

Abrangência	Ocupação	Tempo de Recorrência - (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

3.4.2. Tempo de concentração da água da chuva

Dá-se o nome de tempo de concentração ao tempo em que a chuva, que cai no ponto mais distante da seção considerada de uma bacia hidrográfica, leva para atingir a seção final à jusante da bacia. Assim, iniciando a contagem dos tempos no início da chuva, se esta cobrir toda a bacia, o tempo de concentração mede o tempo que leva para que toda bacia contribua para o escoamento superficial na seção considerada (VILELLA e MATTOS, 1975).

De modo geral, tempo de concentração (t_c) é igual ao tempo de entrada (t_e) mais o tempo de percurso (t_p):

$$T_c = t_e + t_p$$

Sendo:

t_c = Tempo de concentração;

t_e = Tempo de entrada ou tempo percorrido a partir do início de chuva até a formação do escoamento superficial; e

t_p = Tempo de percurso ou tempo decorrente desde a entrada da chuva na bacia até o ponto de concentração considerado.

Para Marcellini (1994), as fórmulas para a obtenção do tempo de concentração são originadas de estudos experimentais de campo ou laboratório, devendo ser aplicadas em condições semelhantes para as quais foram determinadas.

Segundo Canholi (2005), a determinação do tempo de concentração para bacias urbanas deve ser feita de modo criterioso, considerando que a maioria dos métodos de cálculo existente foi desenvolvida a partir de observações e medições experimentais em bacias rurais.

No trabalho de Mata-Lima *et al.* (2007), os autores consideraram os métodos de cálculo do tempo de concentração subdivididos em duas categorias, os estritamente empíricos e os semi-empíricos. Os estritamente empíricos são métodos rígidos e estáticos, que não consideram a variabilidade espacial e temporal da bacia, porém são métodos expeditos (não exigem dados de entrada detalhados), importantes para a fase preliminar do estudo (estudo prévio ou anteprojeto) de uma dada bacia. Já os semi-empíricos incluem parâmetros que variam em função das características ocupacionais da bacia, denotando, portanto, flexibilidade no uso.

Segundo Kibler (1982), a determinação do tempo de concentração por meio de fórmulas empíricas está sujeita às imprecisões e incertezas que se devem ao tipo de escoamento que a fórmula procura representar.

As equações usadas para calcular o tempo de concentração têm, em geral, como entrada pelo menos dois parâmetros, que são o percurso mais longo percorrido pelo leito principal e a inclinação média deste curso d'água. Estão incluídos neste grupo os métodos de Kirpich, California Highways and Public Works, Picking e Ven Te Chow. Os métodos que, além dos parâmetros citados, incluem a área da bacia são: Bransby Willians, Giandotti, Pasini e Ventura (WINKLER *et al.*, 2007).

Para o cálculo do tempo de concentração foi utilizada a fórmula do “*California Culverts Practice*” (DAEE, 2005).

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385}$$

Onde:

tc = tempo de concertação (min.);

L = comprimento do talvegue do curso d'água (km); e

Ieq = declividade equivalente (m/km).

3.4.3. Equação da chuva

A equação da chuva, também denominada equação intensidade-duração-frequência utilizada para o cálculo da vazão de cheia do presente estudo foi a sugerida para a cidade de Bauru (DAEE e ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, 1999), pois o município de Lençóis Paulista não apresenta equação de chuva determinada e nestes casos adota-se a proximidade com outros municípios com equações conhecidas.

- Equação do Município de Bauru:

$$it,T = 35,4487 (t+20)^{-0,8894} + 5,9664 (t+20)^{-0,7749} \cdot [-0,4772 - 0,9010 \ln \ln(T/T-1)]$$

Onde:

i = intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T (mm/min.);

t = duração da chuva em minutos; e

T = período de retorno em anos.

3.4.4. Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente runoff, ou coeficiente de deflúvio é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram (CARVALHO e SILVA, 2006).

Quanto menor a possibilidade de a água precipitada infiltrar-se no solo, maior será o escoamento superficial direto, resultando em um valor mais elevado para o coeficiente C (DAEE, 2005). O DAEE apresenta faixas de valores de C para uso em projetos de análise de vazão, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Valores recomendados pelo DAEE para o coeficiente C .

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES DE C	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos etc.	0,20	0,35

Fonte: DAEE (2005).

Para obter o valor do coeficiente de escoamento (C) da microbacia do córrego da Cachoeirinha foi utilizada a metodologia sugerida pelo DAEE, que considerado o efeito da forma da microbacia através do Coeficiente de Forma ($C1$) e o Coeficiente Volumétrico de Escoamento ($C2$) apresentados nas equações a seguir.

$$C1 = \left(\frac{4}{2 + Ff} \right)$$

Onde:

Ff = Fator de forma.

O coeficiente C2 foi obtido pela ponderação dos coeficientes das áreas parciais, coeficientes estes que são classificados pelo grau de impermeabilização.

$$C2 = \frac{C2_1 \times A_1 + C2_2 \times A_2 + \dots + C2_n \times A_n}{\sum A_i}$$

Onde:

C2n = Coeficientes das áreas parciais;

An = Áreas parciais; e

Ai = Área da bacia de contribuição.

Assim, o valor do coeficiente considerado foi obtido através da equação:

$$C = \left(\frac{2}{1 + Ff} \right) \times \left(\frac{C2}{C1} \right)$$

Onde:

C = Coeficientes de escoamento;

C1 = Coeficiente de forma;

C2 = Coeficiente volumétrico de escoamento; e

Ff = Fator de forma.

3.4.5. Método de I-PAI-WU (Vazão de Cheia)

Como a microbacia do córrego da cachoeirinha apresenta área de drenagem superior a 2,0 km² (15,71 km²), utilizou-se para o cálculo da vazão de cheia o Método de I-PAI-WU (método sintético), conforme equação apresentada abaixo.

$$Q = (0,278 \times C \times i \times A^{0,9}) \times K$$

Onde:

Q = vazão de cheia (m³/min.);

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade de chuva (mm/h);

A = área da bacia (Km²); e

K = coeficiente de distribuição de chuva.

O coeficiente de distribuição espacial da chuva foi determinado de acordo com a área da microbacia do córrego da cachoeirinha e obtido através da Figura 15.

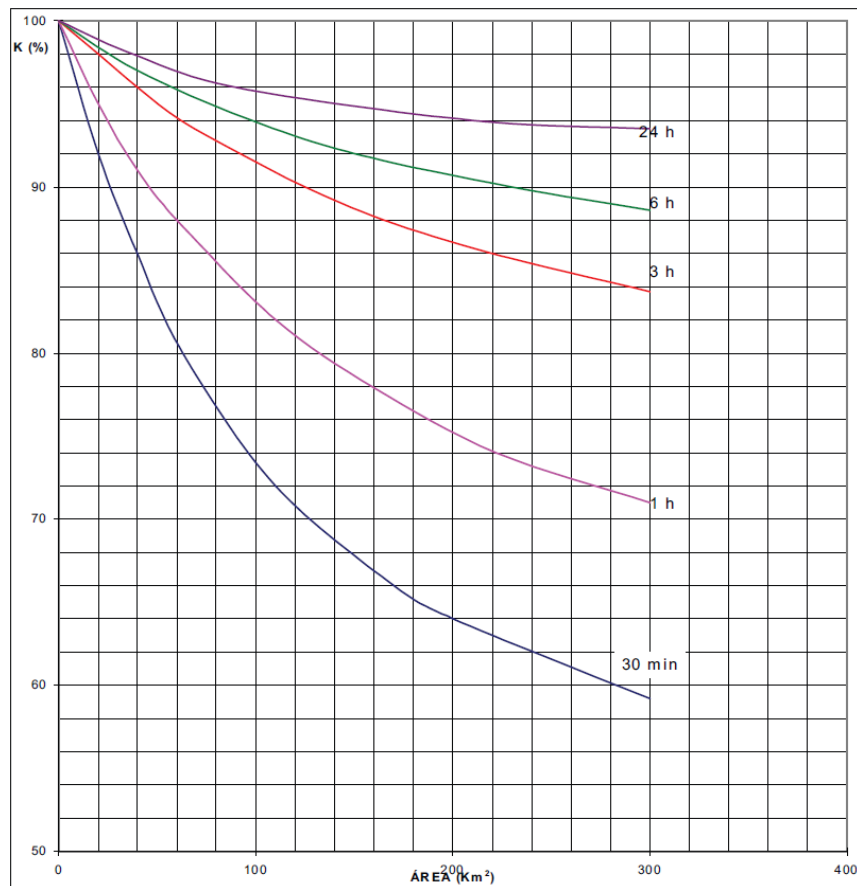


Figura 15 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).

Fonte: Prefeitura Municipal de São Paulo (1999). Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS%20T%C3%89CNICAS%20NSTRU%C3%87%C3%95ES%20NOVAS/Hidr%C3%A1ulica%20e%20drenagem%20urbana/DH-H06.pdf>

3.4.6. Vazão máxima de projeto

Para determinar a vazão máxima de projeto com período de retorno de 100 anos, acrescenta-se uma vazão de base, na ordem de 10,00 % da vazão de cheia, assim, a equação utilizada é apresentada a seguir.

$$Q_{100} = Q \times 1,1$$

Onde:

Q₁₀₀ = vazão máxima de projeto (m³/min.);

3.5. Plano diretor do Município de Lençóis Paulista

O Plano Diretor Municipal de Lençóis Paulista foi aprovado pela Câmara Municipal em Outubro de 2006, através da Lei Municipal nº 35³, estabelecendo as diretrizes de regulação, planejamento territorial municipal e instituindo um novo zoneamento municipal, criando Macrozonas e suas respectivas Zonas de Uso.

No Art. 40 do Plano Diretor o solo urbano do município se divide em macrozonas, classificadas como:

- I. Áreas de Urbanização Restrita (AUR);
- II. Áreas de Consolidação Urbana (ACU);
- III. Áreas de Expansão Urbana (AEU);
- IV. Áreas de Revitalização (AR);
- V. Áreas de Vazio Urbano (AVU);
- VI. Áreas de Interesse Social (AIS); e
- VII. Áreas de Proteção Ambiental Municipal (APAM).

Na Figura 16 é apresentado o mapa de zoneamento urbano do município de Lençóis Paulista.

³Fonte:

<http://187.85.31.242:8080/PesquisaDocumentoWeb/arquivos/bb82c89ec71f2e5ecdc76d0c6b042a8aefe7cde4b05c66c6ffdfc7a86768fa94.pdf>

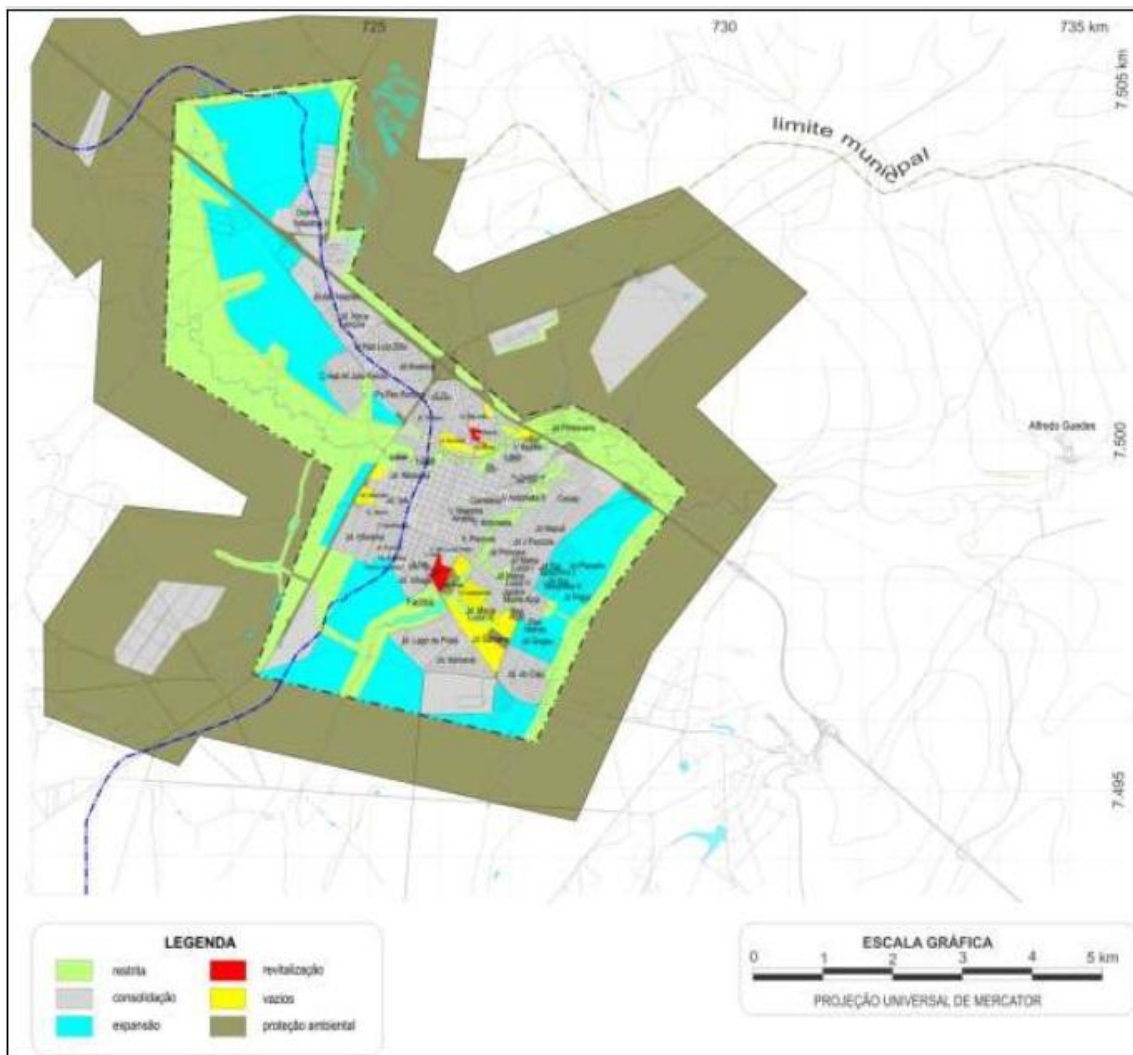


Figura 16: Mapa de zoneamento urbano do Município de Lençóis Paulista.

Fonte: Prefeitura Municipal de Lençóis Paulista.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características espaciais e morfométricas da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha

O levantamento de informações sobre os usos e ocupação dos solos na microbacia do córrego da Cachoeirinha foi realizado através a delimitação da microbacia hidrográfica e das tomadas de cotas do córrego da cachoeirinha obtidas na carta topográfica digitalizada do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1973, na escala 1:50.000, com equidistância vertical entre as curvas de nível de 20 metros, imagem aérea obtidas no Google Earth, e processadas no *software* ArcGIS 9.3.2. A Figura 17 representa as diversas ocupações ocorrentes na microbacia estudada, destacando principalmente a ocupação urbana, a forte presença da cultura de cana-de-açúcar e a baixa presença de matas ciliares e/ou de fragmento de remanescentes florestais.

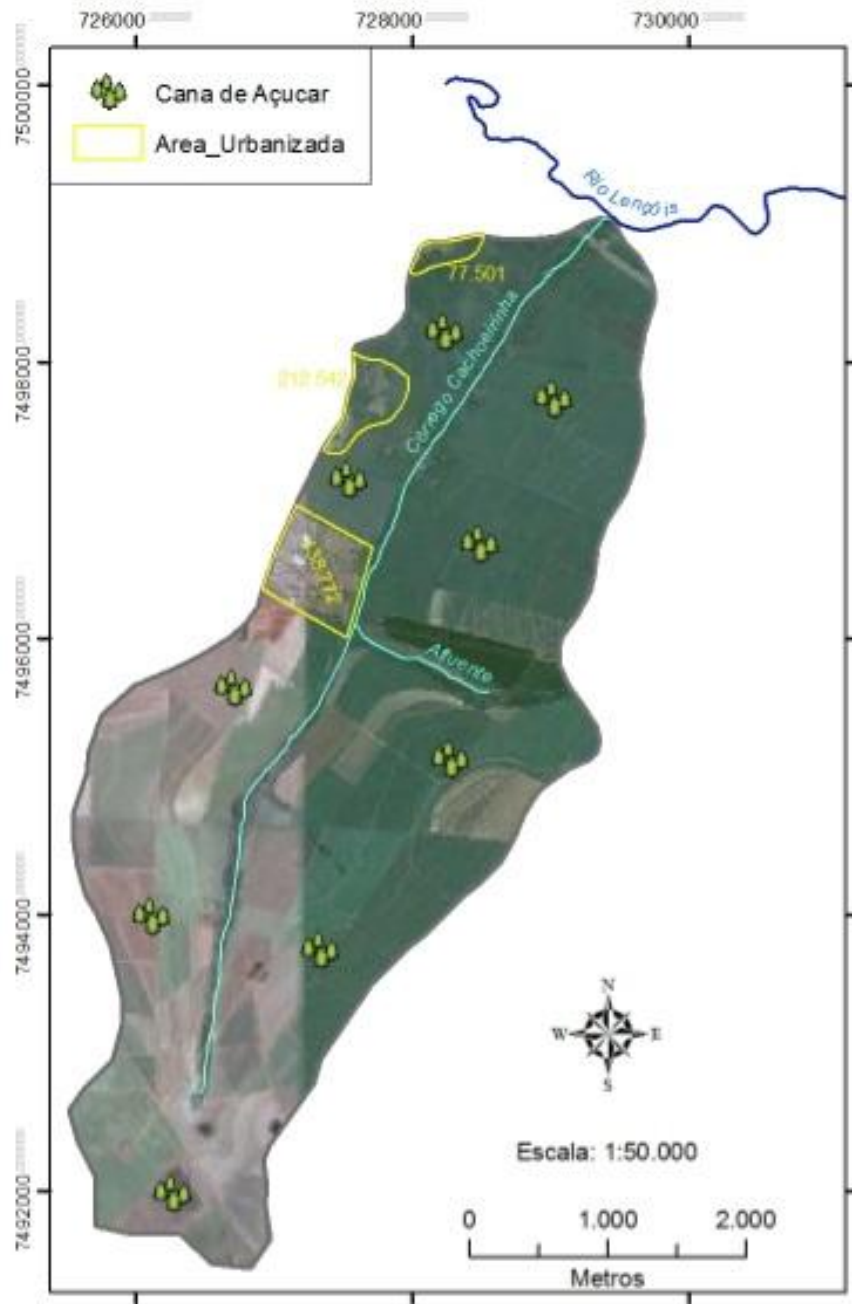


Figura 17 - Mapa de usos e ocupação dos solos da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.

Analisando a Tabela 11, constata-se que a microbacia apresenta área total de 15,71 km², com perímetro de 18,45 km e com 0,51 km² de área de preservação permanente (APP), esta, representando 3,25% da área total. Com os resultados também é possível verificar que o

comprimento total das cotas altimétricas é de 50,37 km e um total de segmentos de rios de 1ª e 2ª ordem de 8,44 km.

Seguindo a classificação da EMBRAPA (1999) – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, a microbacia apresenta tipo de relevo suave ondulado, com declividades média de 6,41% e equivalente de 12,13 m/km, onde a erosão hídrica não oferece problema, uma vez que a declividade pode influenciar a relação entre a precipitação e o deflúvio da bacia (SILVEIRA, 1991).

Seguindo a classificação da razão de relevo estabelecida por Piedade (1980), a microbacia apresenta razão considerada média, com valor de 15,58, onde o solo da microbacia é pouco acidentado, influenciando, na infiltração da água da chuva e refletindo em um menor escoamento superficial.

A magnitude dos picos de enchentes ou a menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente relacionado com o relevo da bacia hidrográfica (VILLELA e MATTOS, 1975).

Seguindo a classificação sugerida por Rocha (1999), o coeficiente de rugosidade da microbacia apresentou valor de 3,30, sugerindo que a microbacia, excluindo-se as áreas de APP, apresenta potencial de uso do solo recomendado para prática agrícola, conforme.

Ainda na Tabela 11, observa-se que os resultados da caracterização do relevo quanto à forma da microbacia, interpretadas através dos resultados sugeridas por Villela e Mattos (1975), apresentou coeficiente de compacidade característico de bacia hidrográfica ovalado, com valor de 1,30. Já o fator de forma e o índice de circularidade apresentaram valores de 0,58 e 1,85, respectivamente, caracterizando a microbacia como alongada, com tendência para conservação, uma vez que, quando este valor estiver próximo da unidade (1,0) a bacia estará sujeita a enchentes, possibilitando a degradação devida principalmente a suas características físicas (POLLO *et al.*, 2012).

A densidade de drenagem da microbacia é de 0,53 km/km² (Tabela 11), indicando baixa capacidade de drenagem da microbacia. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km² ou mais, em bacias bem drenadas. Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa

intensidade ou pouca concentração da precipitação. Conforme Christofolletti (1970), a drenagem encontra-se íntima e especialmente relacionada, como fator analítico, com outro elemento fisiográfico e geomorfológico de extraordinária importância: a erosão.

Com relação à frequência de rios e a densidade hidrográfica, à microbacia apresentou valores aproximados, sendo 0,13 e 0,19, respectivamente. Esta proximidade, entre estas duas variáveis, pode ser explicada devido à baixa densidade de drenagem, visto que o número de segmentos de canais de 1ª ordem está próximo ao número total de canais na microbacia, constatando a maior relação infiltração deflúvio.

Com relação ao gradiente de canais e ao índice de sinuosidade do canal, a microbacia apresentou valor de 8,93 % e 1,04, respectivamente, indicando que os cursos d'água tendem a possuir baixa declividade e com retilíneo (MOREIRA e RODRIGUES, 2010).

Já o valor encontra para o coeficiente de manutenção da microbacia, corresponde que em média, cada canal do córrego da Cachoeirinha possui 1.851,85 m²/m para sua manutenção, ou seja, a área de recarga da microbacia.

Na Tabela 11 são apresentadas as características físicas da microbacia hidrográfica do Córrego da Cachoeirinha.

Tabela 11: Características físicas da microbacia hidrográfica

Características físicas	Unidade	Resultados
Parâmetros dimensionais da microbacia		
Área (A)	km ²	15,71
Perímetro (P)	km	18,45
Comprimento do canal principal (Cp)	km	7,34
Comprimento do talvegue	Km	8,28
Comprimento total da rede de drenagem (Cr)	Km	8,44
Comprimentos das cotas altimétricas (Cn)	Km	50,37
Área de preservação permanente (APP)	km ²	0,51
Características do relevo da microbacia		
Coeficiente de compactidade (Kc)	-	1,30
Fator de forma (Ff)	-	1,85
Índice de circularidade (Ic)	-	0,58
Declividade média (D)	%	6,23
Declividade equivalente	m/km	12,13

Altitude média (Hm)	M	582,00
Maior altitude (MA)	M	656,00
Menor altitude (mA)	M	517,00
Amplitude altimétrica (H)	M	129,00
Razão de relevo (Rr)	-	15,58
Coeficiente de rugosidade (Rn)	-	3,30
Índices padrões de drenagem da microbacia		
Ordem da microbacia (W)	-	2ª
Densidade de drenagem (Dd)	Km/km ²	0,53
Densidade hidrográfica (Dh)	Ntc/km ²	0,19
Frequência de rios (Fr)	Nw1º/km ²	0,13
Extensão do percurso superficial (Eps)	m	935,12
Gradiente de canais (Gc)	%	8,93
Índice de sinuosidade (Is)	-	1,04
Coeficiente de manutenção (Cm)	m ² /m	1.851,85

A Tabela 12 apresentada a caracterização do talvegue da microbacia do córrego da Cachoeirinha.

Tabela 12: Características do talvegue da microbacia.

PONTO	DISTÂNCIA (m)	COTA
1	XXXXXXXXXXXXXX	646
	677,2	
2	328,76	640
	559,14	
3	909,63	620
	1255,78	
4	2582,84	600
	1778,16	
5	186,71	580
	XXXXXX	
6	XXXXXX	560
	XXXXXX	
7	XXXXXX	540
	XXXXXX	
8	XXXXXX	520
	XXXXXX	
9	XXXXXX	515
	XXXXXX	

O talvegue da microbacia apresenta comprimento de 8,28 km e sua declividade equivalente, conforme exposto na Tabela 11, apresentou valor de 12,13 m/km, considerado de baixa declividade.

A Figura 18 mostra as classes hipsométricas da microbacia do córrego da Cachoeirinha.

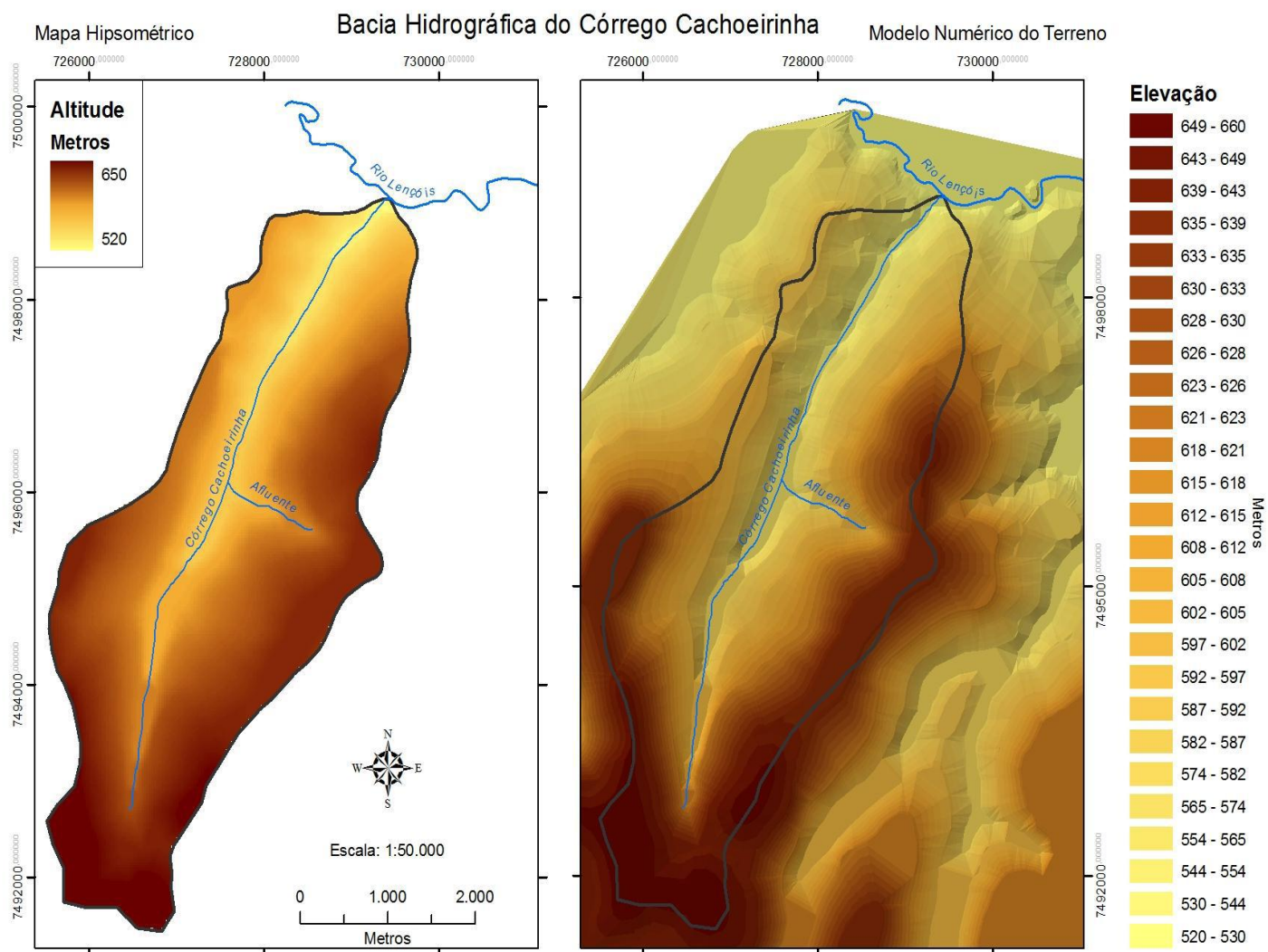


Figura 18 - Mapa hipsométrico da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha.

Por meio deste resultado pode-se afirmar que a microbacia do córrego da Cachoeirinha, considerando o relevo e a rede de drenagem, em condições normais de

precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, é pouco susceptível a enchentes.

4.2. Parâmetros da urbanização, prognóstico e projeção da urbanização na microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha

O município de Lençóis Paulista apresenta área total de 803,86 km², com uma população de 62.056, perfazendo uma densidade demográfica de 77,20 hab./km² e tendo como grau de urbanização 97,76%, ou seja, a maior parte da população esta na área urbana do Município. A taxa geométrica de crescimento anual da população no município apresenta percentagem de 1,11% ao ano (SEADE, 2012).

Conforme exposto no Mapa de Zoneamento Urbano do Município de Lençóis Paulista (Figura 16, do item 3.5) e analisando o Plano Diretor do Município a microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha apresenta macrozonas classificadas como: Área de Urbanização Restrita (região Oeste da microbacia, mais especificamente na APP); Área de Expansão Urbana (região Oeste da microbacia, exceto APP); Área de Consolidação Urbana; e Área de Proteção Ambiental Municipal (região Leste da microbacia).

Dentro deste contexto (Mapa de Zoneamento Urbano), obteve-se o parâmetro de urbanização da microbacia como sendo de 5,00 % da área totalmente urbanizada (valor de $C = 1$), 10,00 % parcialmente urbanizada (valor de $C = 0,5$) e 85,00 % com predomínio de plantações e pastagem (valor de $C = 0,35$), denominado de cenário atual. Para um prognóstico de como a urbanização influencia no escoamento superficial da água da chuva e consecutivamente na vazão máxima dos cursos d'água, também foi corrigida para uma condição futura, de acordo com projeções da evolução dos usos e ocupação dos solos na microbacia, sendo considerados 35,00 % da área da microbacia como totalmente urbanizada (valor de $C = 1$), 10,00 % parcialmente urbanizada (valor de $C = 0,5$) e 55,00 % com predomínio de plantações e pastagem (valor de $C = 0,35$), denominado de cenário de projeção futura (Figura 19).

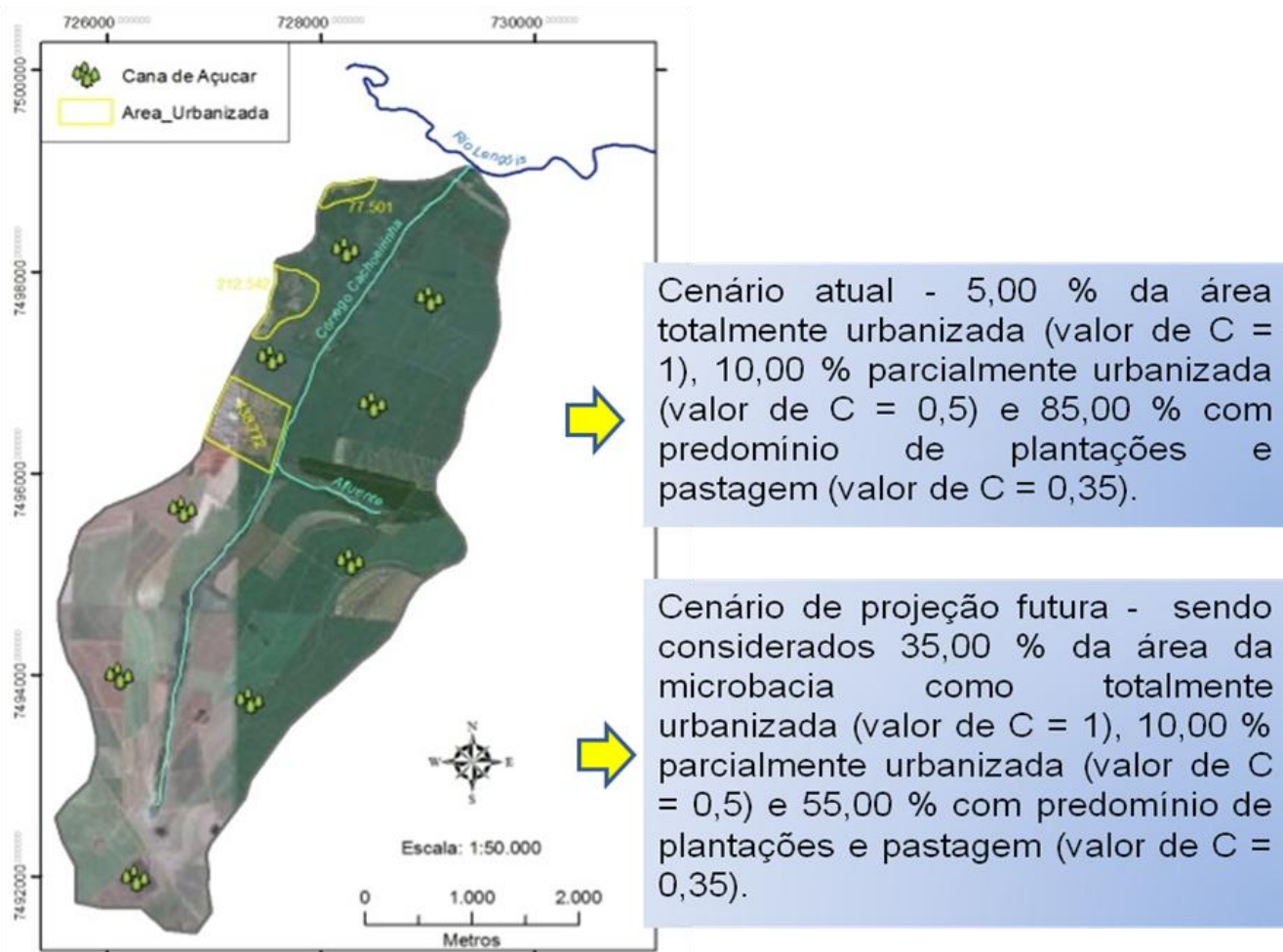


Figura 19 – Parâmetros de urbanização da microbacia hidrográfica do Córrego da Cachoeirinha – cenário atual e projeção futura.

De acordo com Tucci (2000), para cada 10% de aumento da área impermeável ocorrem cerca de 100% de aumento no coeficiente de escoamento de cheia e no volume de escoamento superficial.

4.3. Coeficiente de escoamento superficial na microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha

Targa *et al.* (2012), comparam os valores do coeficiente de escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Igarapé Tucunduba, em Belém/PA, nos anos 1972 e 2006 e, os valores variaram na ordem de 0,30 a 0,73 denotando uma resposta da urbanização.

Tucci (2000), demonstrando o impacto da urbanização, apresenta as relações entre área impermeável, impermeabilização do lote e aumento do volume de escoamento superficial, com relação à situação de área rural. Os valores utilizados para o cenário rural correspondem a comprimento da bacia de 1 km, área da bacia de 1 km², taxa de área impermeável de 1% e o coeficiente de escoamento superficial 0,95, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Impacto da urbanização.

Área impermeável no lote	Área impermeável na bacia	Aumento do volume de escoamento superficial¹
%	%	
7	20	2,15
20	30	3,22
33,3	40	4,29
46,7	50	5,36
60	60	6,44
73,3	70	7,51
80	80	8,58

1 – Aumento em número de vezes com relação a condição rural.

Fonte: Tucci (2000).

Para o cenário atual da área objeto do estudo, conforme mencionado no item anterior, obteve-se um valor de coeficiente de escoamento superficial de 0,26. Já para o prognóstico de uma condição futura, de acordo com projeções da evolução dos usos e ocupação dos solos na microbacia, o valor de coeficiente de escoamento superficial é de 0,40.

Com a crescente urbanização da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha, passando do estado atual de 15,00 % parcialmente urbanizado a totalmente urbanizado para 45,00 %, o coeficiente de escoamento superficial passa de 0,26 para 0,40, conforme apresentado na Figura 20.

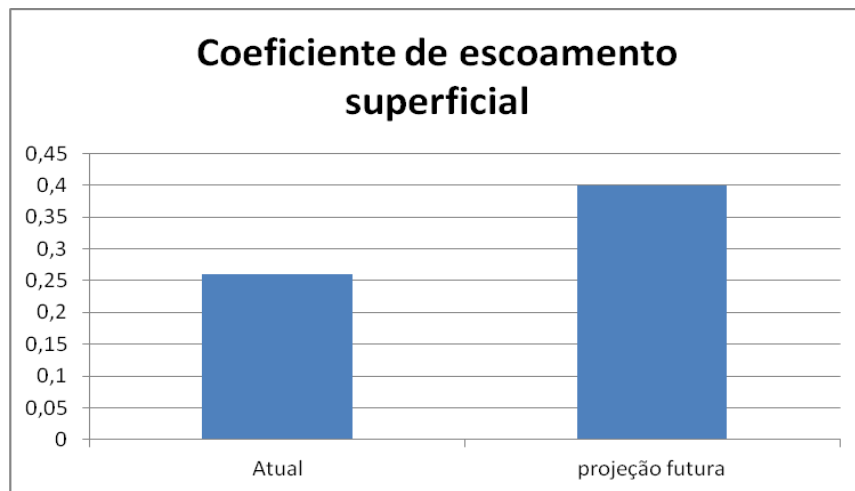


Figura 20 - Gráfico da variação do coeficiente de escoamento superficial na microbacia do córrego da Cachoeirinha.

4.4. Características hidrológicas da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha

Conforme exposto anteriormente, para a análise hidrológica da microbacia utilizou-se de extensão de série histórica de dados fluviométricos inferior a 3 anos, sendo o método sintético de I-PAI-WU, para áreas de drenagem de 2 a 200 Km², uma vez que microbacia do córrego da Cachoeirinha apresenta área total de 15,71 km².

O período de retorno considerado, para o cálculo da vazão de cheia e máxima, foi de 100 anos, ou seja, considerou-se um evento (chuva) que ocorre a cada 100 anos, ressalta-se que este período de retorno considerado é o sugerido pelo DAEE para aprovação de outorgas de implantação de empreendimentos como construção de pontes, travessias e barragens.

De acordo com Winkler *et al.* (2007), os fatores que influenciam no valor do tempo de concentração são: forma da bacia; declividade média; tipo de cobertura vegetal; comprimento e declividade do curso principal e afluentes; distância horizontal entre o ponto mais afastado da bacia e sua saída; e condições do solo em que a mesma se encontra no início da chuva.

O coeficiente de distribuição espacial da chuva (K) foi determinado de acordo com a área da microbacia do córrego da Cachoeirinha e obtido através da Figura 15 (item 3.3.5), onde o valor considerado é 0,99.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados hidrológicos do córrego da Cachoeirinha obtidos através do método sintético de I-PAI-WU.

Tabela 14: Características hidrológicas da microbacia do córrego da Cachoeirinha com usos e ocupação dos solos atual e para uma projeção futura utilizando o Método I-PAI-WU.

Especificação	Tc (min.)	i (mm/min.)	C1	C2	C	Q de cheia (m ³ /s)	Q máxima (m ³ /s)
Atual	112,02	0,96	1,04	0,39	0,26	50,03	55,04
Projeção futura	112,02	0,96	1,04	0,59	0,40	75,69	83,26

Tc = Tempo de Concentração, i=Equação da Chuva; C1= Coeficiente de Forma; C2= Coeficiente Volumétrico de Escoamento; C= Coeficiente de escoamento superficial; Q de cheia= Vazão de Cheia e Q máximo= Vazão máxima.

A Tabela 14 apresenta que com a projeção futura de urbanização da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha (45,00% da área da microbacia) a vazão máxima passará de 55,04 m³/s para 83,26 m³/s, perfazendo um aumento de 28,22 m³/s, conforme apresentado na Figura 21 abaixo.

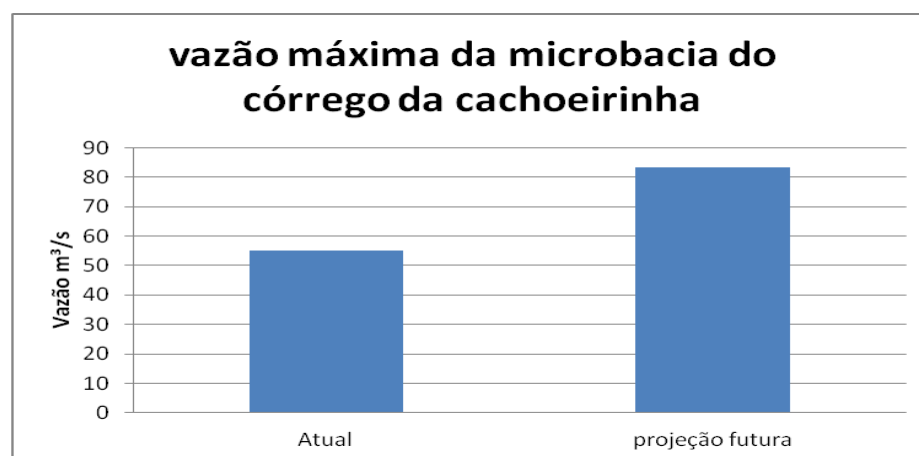


Figura 21 - Gráfico da vazão máxima da microbacia do córrego da Cachoeirinha com os usos e ocupação dos solos atual e para uma projeção futura.

No estudo desenvolvido por Justino *et. al* (2011), os resultados obtidos na simulação dos cenários mostraram que para uma variação de 29 a 54% no índice de áreas impermeáveis, a vazão máxima pode sofrer um aumento de até 59,40%.

Já no estudo desenvolvido por Nunes e Fiori (2007), para um tempo de recorrência de 5 anos a vazão máxima elevou-se de 150,21 m³/s em 1962 para 178,50 m³/s em 1980 e, para 216,96 m³/s em 2000. Mantendo-se ainda a mesma tendência de evolução para um tempo de recorrência de 20 anos, a vazão máxima de 231,42 m³/s em 1962 aumenta para 266,22 m³/s em 1980 e para 312,63 m³/s em 2000.

5. CONCLUSÕES

Os índices e padrões morfométricos analisados possibilitaram compreender melhor a dinâmica do escoamento das águas superficiais na microbacia do córrego da Cachoeirinha. Assim, pode-se concluir que a microbacia apresenta forma alongada, pequena amplitude altimétrica, solo pouco acidentado e com baixa declividade, influenciando na infiltração da água da chuva e refletindo em um menor escoamento superficial e em condições normais de precipitação é pouco susceptível a enchentes.

As simulações realizadas neste estudo mostraram que o avanço do processo de urbanização na microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha tem significativo efeito sobre o coeficiente de escoamento superficial da microbacia. E que a aplicação de projeção futura para os usos e ocupação dos solos na microbacia revelam que a influência do processo de adensamento urbano sobre o incremento dessas vazões (cheia e máxima) poderá ser muito expressivo.

6. RECOMENDAÇÕES

Sobre a análise hidrológica, observou-se que os resultados encontrados estão fortemente relacionados com a qualidade das informações de entrada e à definição de importantes parâmetros, em especial, a metodologia adotada para estimativa da vazão de enchentes, o tempo de concentração da água da chuva e os coeficientes relacionados com as perdas por infiltração, retenção e armazenamento de água.

Neste sentido, a escolha dos parâmetros hidrológicos utilizados, a sua determinação e as interações internas entre eles torna-se complexa na medida em que o mau ajuste destes pode distorcer valores gerados, ocasionando grande incerteza nos resultados obtidos.

Como sugestão, pode-se propor pesquisas com o intuito de melhorar esses parâmetros e estudos de modelagem hidrológica para se ter a real abrangência espacial das enchentes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J.; CASTRO, P. T. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociência**, Ouro Preto, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

ARCOVA, F. C. S. **Influências da Zona Ripária sobre os processos hidrológicos de microbacias**. *Manejo de Microbacias Hidrográficas Experiências Nacionais e Internacionais*. Cap. I p. 37, 2006.

ASSOCIAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DO MÉDIO TIETÊ - ASCANA. **Plano técnico de conservação do solo e contenção de águas pluviais**. Lençóis Paulista, 2008. Disponível em: <http://www.ascana.com.br/QueimaPalha/PLANO%20DE%20A%C3%87%C3%83O%20ASCANA.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2010.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J.T. ; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57 - 94.

BUFON, A. G. M. **Variação temporal e espacial da taxa de sedimentação e das características Limnológicas na microbacia do córrego da Barrinha, no município de**

Pirassununga, SP. 2002. 180 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Integrada de Recursos)-Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de textos, 2005. 304 p.

CARREGA, E. F. B. **Diagnóstico integrado de síntese da bacia do rio capivara, Botucatu (SP).** 2010. 61 f. Tese (Doutora em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia: escoamento superficial.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2010.

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas – MG.** 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CHOW, V. T. *et al.* **Applied hidrology.** New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas.** 1970. 375 f. Tese (Livre Docência)-Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, 1970, Rio Claro.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999. p. 236.

CHRISTOFOLETTI, A. Morfologia de bacias de drenagem. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, n. 18, p. 130-138, 1979.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ/JACARÉ – CBH - TJ. **Fundamentos para cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do Tietê – Jacaré**. Araraquara. 2009. Disponível em:< [http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca\[0\].pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TJ/1322/fundamentos%20da%20cobranca[0].pdf)>. Acesso em 12 de Novembro de 2012.

CRUZ, M. A. S. *et al.* Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre, 1999. 21 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo. 2005. Disponível em:< <http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/guia/capitulo01.pdf>>. Acesso em 12 de Novembro de 2012.

DAEE / CETESB – **Drenagem Urbana, Manual de Projeto**, 2ª ed. São Paulo. 1980.

DAEE/ ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1999. Disponível em:<www.daeebauru.org/EquaChuvasIntensas.doc>. Acesso em 12 de Novembro de 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

ESTEVES, R. L.; MENDIONDO, E. M. Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos, SP. In: **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Curitiba, nov.2003 – ABRH.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. 2004. 155 f. Dissertação (Mestre – Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia) – Faculdade Federal do Paraná, Paraná.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. Piracicaba, 1968. 151p. Tese (Doutor em Agronomia/ Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652p.

HAUGHTON, G & HUNTER, C. Sustainable cities. **Regional Policies and Development Series 7**. London: Jessica Kingsley Publishers and regional Studies Association. p. 357. 1994.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology**. Bull. Geol. Soc. Am., Colorado, v.56, n.03. p. 275 - 330. 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapas de bioma e vegetação do Brasil**. Brasília. 2004. Disponível em:<
ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/>. Acesso em 12 de Novembro de 2012.

JUSTINO, E. A. *et al.* Análise do efeito da impermeabilidade dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia – MG. **Espaço em Revista**. ISSN: 1519-7816. vol. 13, nº 2, p. 16 – 38, 2011.

KIBLER, D. F. **Urban stormwater hydrology**. Washington, D.C., AGU, 1982.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** *Apostila LCF/ESALQ.* Piracicaba, SP. 1994.

LUZ, V. V. C. **Avaliação sobre o projeto de drenagem da duplicação da Rodovia Jornalista Francisco Aguirra Proença.** São Paulo. 2009. 63 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, SP.

MATA-LIMA, H. *et al.* Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 2007.

MATTOS JR, L. C. S. **Microbacia hidrográfica do ribeirão turvão, Ervália, (MG): uma análise morfométrica.** Viçosa, 2010. 41 p. Monografia (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

MARCELLINI, S.S. **Análise de critérios para a determinação das tormentas de projeto e sua influência nos hidrogramas em pequenas bacias hidrográficas.** Dissertação Mestrado. São Paulo: USP, 1994. 176p.

MELLO. C. R; MARCIANO DA SILVA. A. **Nota de aula da disciplina de Hidrologia.** 2008. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. 2008.

MENDIONDO, E. M. *et al.* **Uso de SIG associado ao método racional para previsão de vazões na bacia do córrego do mineirinho - São Carlos - SP.** São Carlos. Disponível em: <http://www.shs.eesc.usp.br/downloads/technotes/emm/Benini_et_al_IISRH-Goiania-2004.pdf>. Acesso em 13 de Janeiro de 2011.

MILLER, V. C. **A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee.** Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3, New York, Columbia University, 1953.

MOREIRA, L.; RODRIGUES, V. A. Análise morfométrica da microbacia da fazenda Edgárdia – Botucatu, SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 16, n° 1, p. 9-21, 2010.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308p.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P. A utilização do método de Vem Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba. **Revista eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFPR**. Curitiba, v.2, n.2, p.139-155, 2007.

PIEDADE, G.C.R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. Botucatu, 1980. 161 p. (Tese de Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1980.

PISSARRA, T. C. T. *et al.* Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 28, p. 297-305, 2004.

POLITANO, W.; PISSARRA, T.C.T. Relações entre características morfométricas quantitativas e estimativa da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 1, p. 179-186, 2003.

POLLO, R. A. *et al.* Caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão água da Lucia, Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**. Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.163-174, 2012.

RODRIGUES, V. A. Análise dos processos hidrológicos em modelo didático de microbacias. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal Garça**, v.17, n.1, p. 1-15, 2011.

RODRIGUES, V. A.; *et al.* Avaliação do fluxo de água dos canais nas Ruas de Freiburg - Alemanha. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal Garça**, v.18, n.1, 2011.

RODRIGUES, V. A. Morfometria e mata ciliar da microbacia hidrográfica. In: ANAIS, WORKSHOP EM MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 8., 2004, Cunha, SP. **Workshop em manejo de bacias hidrográficas**. Botucatu. Unesp. FCA, 2004. p.7 - 18.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**, Santa Maria: Imprensa Universitária, 1999. 423 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 2004. 184 p.

SANTOS, C.A.; SOBREIRA, F.G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas – MG. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 1, p. 7-85, 2008.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. 2013. **Perfil Municipal**. Lençóis Paulista. Disponível em:<
<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfilMunEstado.php>>. Acesso em 10 de Maio de 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SMA. **Cadernos da Mata Ciliar**. Departamento de Proteção a Biodiversidade. - N. 2. São Paulo. 2009. 68 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SMA. Sistema de informações florestais no Estado de São Paulo. 2005. **Mapa florestal do município de Lençóis Paulista**. Disponível em:<
<http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/estadosaopaulo/lencoispaulista.pdf?opcoes=estadosaopaulo%2Flencoispaulista.pdf>>. Acesso em 12 de Novembro de 2012.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2004. 141p.

SILVA, L. *et al.* Caracterização geomorfométrica e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do Açude Soledade. Recife. 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física** **03**. Disponível em: < <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/80/117>>. Acesso em: 23 de Março de 2013.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 35-51.

SOUSA, D.M.G; LOBATO, E. **Latossolos**. EMBRAPA. Brasília. 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: 01 de Maio de 2013.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans. Amer. Geophys. Union**, New Haven, v. 38. p. 913-920, 1957.

TARGA, M. S. *et al.* Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 7, n.2, 2012.

TONELLO, K.C. *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhões - MG. **Revista Árvore**, Viçosa. v.30, nº 5, p. 849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6. 1998, Presidente Prudente, SP. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH, 1998. 1 CD-ROM.

TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. **Gerenciamento de Drenagem Urbana**. Apostila da UFRS, Porto Alegre, RS, p. 46. 2001.

TUCCI, C.E.M. 1993 (org). **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, RS. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, 952 p (2º edição).

TUCCI, C. E. M. **Programa de drenagem sustentável: apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas** – Versão 2.0. Brasília: Ministério das Cidades, 192 p. 2005a.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana e Controle de Inundação**. In: Ciência da Terra e meio ambiente: diálogo para interações no Planeta Chassot A e Campos, Heraldo (orgs) Editora da Unisinos. p 147 – 174. 1999.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento superficial e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 5. n.1. p 61-68, 2000.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do Impacto da Urbanização**. In: Drenagem Urbana: gerenciamento, simulação e controle. Porto Alegre, RS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 5, Editora da Universidade, Porto Alegre. P. 278 – 345. 1995.

TUCCI, C. A. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, vol. 7, n.1, Jan./Mar.2002, p.5-28, 2002.

TUNDISI, J.G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 4, n. 55, p. 31 - 33, 2003.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1975. 245p.

WINKLER, A. S. *et al.* **Estimativa do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica: comparação entre metodologias**. Pelotas, RS. 2007. Disponível em:<

http://www.ufpel.edu.br/cic/2009/cd/pdf/EN/EN_00388.pdf>. Acesso em: 25 de Maio de 2013.

WISLER, C. O.; BRATER, E. F. **Hidrologia**. Tradução e publicação de Missão Norte-Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964.

WU, I Pai. Design hydrographs for small watersheds in Indiana. In: **Journal of the Hydraulics Division**. American Society of Engineers, 1963. Vol. 89, nº 6, p. 35 – 66.