

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

*Campus Rio Claro*

CAMILA BARBOSA

**PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL:  
DIRETRIZES DE URBANIZAÇÃO EMBASADAS NAS CARACTERÍSTICAS  
GEOMORFOLÓGICAS/PEDOLÓGICAS DE VERTENTES.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Rio Claro (SP)

2010

551.4+ B238p Barbosa, Camila  
Planejamento urbano sustentável: diretrizes de urbanização embasadas nas características geomorfológicas/pedológicas de vertentes / Camila Barbosa. - Rio Claro : [s.n.], 2010  
123 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha

1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Análise geomorfológica. 3. Drenagem urbana. I. Título.

CAMILA BARBOSA

PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL:  
DIRETRIZES DE URBANIZAÇÃO EMBASADAS NAS CARACTERÍSTICAS  
GEOMORFOLÓGICAS/PEDOLÓGICAS DE VERTENTES.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Comissão Examinadora

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Rio Claro, SP \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Dedico ao amigo e orientador Professor Pompeu Figueiredo de Carvalho. Arquiteto e geógrafo responsável pelos alicerces desta obra, que infelizmente partiu sem tempo de vê-la finalizada. O desejo de que outras bases por ele iniciadas se concretizem.

Agradeço:

Ao orientador, Professor Pompeu Figueiredo de Carvalliho, pelas inúmeras lições, pela confiança no meu trabalho, por todas as oportunidades e pela admirável postura ética;

À professora Cenira Maria Lupinacci da Cunha, pelas orientações, por todos os questionamentos que me fez nos eventuais encontros pelo Deplan e pela disponibilidade em ajudar, desde o início;

À CAPES pela bolsa concedida;

Ao CNPq, pelo apoio concedido através da bolsa do orientador;

Ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo, por autorizar os experimentos e coleta de solos nas áreas da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade;

Ao Professor Edson Gomes de Oliveira, pelas orientações com o levantamento topográfico, pelo entusiasmo de ensinar;

Ao Dener, pela disposição, amizade e dedicação nos longos dias em campo;

Ao pessoal que me ajudou no decorrer desses dois anos: Leandro, Bruno (Kiko), Edvaldo, Rafael (Biro), Nádia, Léo, Robson, Daniel (Limeira), Alan, Sueli, Helena, e Janine.

À minha prima Juliana pela dedicação na revisão do texto;

À minha irmã Michele, por todo apoio e pela ajuda com a análise estatística;

À Mari, Lela, Mayra, Tika e Leila, por tornarem minha rotina mais agradável;

À Natália, Fernanda e Vivian, amigas sempre presentes, por entenderem minha ausência;

Aos meus pais e meu irmão João Pedro, a quem dedico todas as minhas conquistas;

Ao Luiz, pela importantíssima ajuda com os softwares, mas principalmente pelo companheirismo, por transmitir tranquilidade e confiança nos momentos difíceis.

## RESUMO

A impermeabilização das áreas urbanas repercute na capacidade de infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial, a concentração de enxurradas e a ocorrência de cheias, interfere no arranjo dos armazenamentos e das trajetórias das águas. Tais alterações, no sistema hidrológico natural, desencadeiam problemas ambientais como: aumento da cota das enchentes e erosões. Os problemas ambientais reforçam as desigualdades sociais, uma vez que, o acesso ao ambiente seguro e saudável é desigual e a população de baixa renda ocupa as áreas de maior fragilidade: encostas íngremes e fundos de vales. O reconhecimento das características hidrogeomorfológicas naturais, mediante a análise geomorfológica, pode fundamentar uma proposta de ocupação que favoreça a manutenção da infiltração e consequente diminuição do escoamento superficial. Dentro da análise geomorfológica destaca-se a vertente, unidade hidrogeomorfológica e elemento dominante do relevo, onde materializam-se as relações das forças produtivas e as transformações que compõem a paisagem. O presente trabalho tem por objetivo estabelecer diretrizes para um planejamento urbano em conformidade com as características naturais de infiltração e escoamento, inter-relacionando planejamento urbano e análise ambiental. Para tanto, toma-se a vertente (*latu sensu*) como unidade espacial de análise. Considera-se que o Estado, através do planejamento urbano e mediante a análise ambiental, possa regular a organização espacial da sociedade a favor do bem estar e segurança coletivos, contribuindo para que a cidade se desenvolva de maneira sustentável e evitando que as regras de uso do solo urbano sejam condicionadas pela obtenção de lucro.

**PALAVRAS CHAVE:** Planejamento urbano, análise geomorfológica, drenagem urbana sustentável

## **ABSTRACT**

The impermeabilization of urban areas prevents the water infiltration, supports the runoff and flood concentration and interferes on its storages and trajectories. Such changes in the hydrological system increase the floods and erosion levels. These urban environmental problems reinforce the social inequalities, since the access to safe and healthy environment is uneven, low-income population occupies the areas of greatest fragility, such as steep slopes and valley bottoms. The recognition of natural hydrogeomorphological features may support an occupation proposal that facilitates the infiltration, decreasing the rainwater volume and time transfer in urban areas. In the geomorphological analysis, the slope, the hydrogeomorphological unit and the prevailing landform element are emphasized. The slope materializes the productive forces relations and transformations that compose the landscape. Therefore, this study aims to establish guidelines for urban planning in accordance with the natural characteristics of infiltration and drainage slope (*latu sensu*), linking urban planning and environmental analysis. It is considered that the Government should determine the spatial organization for the prosperity of the society and collective security, contributing for the development of the city in a sustainable way, preventing that the urban land rules are determined by profit.

**KEYWORDS:** Urban planning, geomorphological analysis, sustainable urban drainage

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
1.1	Contextualização, Objetivos e Justificativas.....	9
1.2	Teoria Geossistêmica e o Materialismo Histórico para a Prevenção do Impacto .....	12
2	O ESPAÇO URBANO .....	19
2.1	A Cidade Capitalista.....	19
2.2	Sustentabilidade Urbana .....	21
2.3	O Papel do Estado na Produção do Espaço Urbano Sustentável .....	25
2.4	Zoneamento Urbano ambiental – A Regulação da Propriedade para a Construção de Cidades Sustentáveis:.....	28
2.5	Diretrizes de Uso e Ocupação do Solo na Perspectiva da Sustentabilidade Urbana. ....	30
3	RELEVO E SOLO NA PREVENÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL URBANO.....	37
3.1	Impacto Ambiental.....	37
3.2	A vertente como Unidade Espacial de Análise Geográfica .....	39
3.3	Comportamento da Água na Vertente.....	42
3.4	Impactos Decorrentes de Impermeabilização do Solo em Áreas urbanas .....	46
3.5	Drenagem Urbana Sustentável .....	48
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
4.1	Contextualização da Área de Estudo: o Município de Rio Claro- SP .....	51
4.2	A Vertente em Estudo .....	54
5	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS.....	58
5.1	Mapa de Feições Geomorfológicas .....	60
5.2	Levantamento Topográfico de Detalhe.....	61
5.3	Mapa de Declividade.....	62
5.4	Malha Amostral de Levantamento de Dados em Campo .....	63
5.5	Taxa de infiltração .....	65
5.6	Textura Dos Solos – Percentual de Areia em Superfície e Discordância Textural.....	69
5.7	Resistência dos Solos à Penetração .....	70
5.8	Mapa de Condições de Infiltração.....	73
5.9	Mapa de Restrições Legais Urbanas e Ambientais.....	75
5.10	Mapa de Fluxos de Escoamento Superficial.....	76
5.11	Mapa Síntese: Condições de Infiltração e Escoamento. ....	77
5.12	Setorização da Vertente para a Definição de Padrões de Ocupação Urbana.....	78



5.13	Padrões de Uso e Ocupação de Solo .....	79
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
6.1	Análise Físico Territorial em Escala de Detalhe para o Planejamento Urbano .....	81
6.2	Análise Sistêmica da Vertente para o Planejamento Urbano .....	83
6.3	Restrições Legais .....	97
6.4	Avaliação de Padrões de Uso e Ocupação do Solo .....	100
6.5	Diretrizes de Urbanização Embasadas nas Características da Vertente. ....	102
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
9	ANEXOS .....	120
9.1	Anexo 1 – Chuvas diárias de janeiro a junho de 2009 .....	120
9.2	Anexo 2 :Taxa de Infiltração, Granulometria e Resistência à Penetração por Pontos Amostrais. .....	121

# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 Contextualização, Objetivos e Justificativas

A cidade é uma das mais intensas formas de ação do homem sobre o ambiente natural. Seu crescimento e desenvolvimento pode desencadear sérios problemas ambientais e sociais. É no espaço urbano que os custos ecológicos e sociais se expressam com maior intensidade e são revertidos à própria população. A intensificação da urbanização a partir da década de 1970 agravou os problemas ambientais e consolidou a degradação da qualidade de vida em muitos centros urbanos brasileiros. A ineficiência dos instrumentos de planejamento tornou-se evidente principalmente nas grandes cidades brasileiras. Atualmente são as cidades médias que apresentam maior crescimento populacional, reproduzindo os impactos das grandes metrópoles.

Arelados aos problemas ambientais, estão os sociais, uma vez que as desigualdades sociais são reforçadas também pelo acesso desigual ao ambiente seguro e saudável, configurando um cenário em que a população de baixa renda ocupa as áreas de maior fragilidade ambiental, como encostas íngremes e fundos de vales. Estas ocupações são, muitas vezes, irregulares ou ocorrem devido aos menores preços no mercado imobiliário.

A produção da moradia e da cidade, sob o modo de produção capitalista, tem como ator principal os empreendedores privados. O setor público na produção, atua especialmente na gestão e regulação das atividades empresariais, tendo um papel secundário, bem menor inclusive que aquele apregoado pela ideologia dominante. Desta forma a regulação do mercado entre produtores e consumidores do espaço urbano e da moradia se dá de modo imperfeito em uma sociedade em que as desigualdades sociais são marcantes.

O planejamento urbano enquanto instrumento que visa amenizar as disparidades sociais, ao pautar-se na análise ambiental, deve contribuir para que as regras de exploração dos recursos naturais e do uso do solo urbano, via de regra condicionadas pela obtenção de lucro, sejam reavaliadas. Tal postura vincula-se ao conceito de “desenvolvimento sustentável”, que busca consolidar um processo de mudança social, compatibilizando crescimento e desenvolvimento econômicos, conservação ambiental, qualidade de vida e equidade social. Neste contexto, o princípio constitucional da função social da propriedade, materializada pelo zoneamento urbano ambiental viabiliza ao Estado regular a produção da

cidade e da propriedade, como meios capazes de propiciar a dignidade do ser humano enquanto valor supremo, sobrepondo-se aos interesses privados. Deve-se considerar, portanto, que a sustentabilidade urbana só se efetiva quando a propriedade cumpre sua função social.

Assim, o planejamento urbano sustentável é aqui entendido como aquele que incorpora, na definição dos padrões de uso e ocupação do solo, além da dimensão social, a dimensão ambiental. Tal planejamento vislumbra a produção da cidade, regulada pelo Estado e não apenas pelo capital, promovendo justiça social com ênfase na análise das aptidões físicas do sítio em que esta se desenvolve, evitando que a distribuição espacial das populações mais carentes esteja vinculada às áreas degradadas, fato agravante de sua condição de vida.

Um dos problemas ambientais mais preocupantes, especialmente em países de clima tropical como o Brasil, relaciona-se à água no meio urbano. A urbanização cria um novo ambiente hidrológico, a alta impermeabilização altera as taxas de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial, características que associadas a altos índices pluviométricos desencadeiam e intensificam as enchentes e os processos erosivos. O sistema de drenagem urbana convencional visa carrear para fora das áreas urbanas, de maneira rápida e concentrada, o volume de água que deixa de infiltrar devido à impermeabilização. Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, o objetivo do sistema de drenagem urbana é manter as o escoamento superficial em condições de pré-ocupação, favorecendo a manutenção da infiltração e retenção das águas pluviais e para tanto, destaca-se a implantação de áreas verdes permeáveis.

Tendo como premissa o fato de que a topografia é um dos elementos mais importantes na orientação do desenvolvimento da malha urbana, constituindo-se o suporte das interações naturais e sociais, é relevante a associação entre o planejamento urbano e a análise geomorfológica. Neste contexto, a mitigação da alteração do ciclo hidrológico e seus consequentes impactos urbanos, pautam-se no estabelecimento de diretrizes de ocupação que sejam compatíveis com as características hidrogeomorfológicas do sítio. Considera-se que esta concepção pode ser agregada, com grandes benefícios ambientais e mesmo econômicos, ao zoneamento urbano e ambiental. No entanto, para que seja eficiente, não basta constar nas leis de zoneamento a obrigatoriedade de baixas taxas de ocupação, altos índices de permeabilidade ou mesmo a restrição a urbanização e alocação de áreas verdes públicas, sem antes compreender as características físicas locais que condicionam o comportamento da infiltração. É, neste contexto, que a definição de índices urbanísticos por zona, quando atrelada à análise das características naturais desta, deve otimizar a implantação destas áreas verdes permeáveis em setores em que naturalmente a infiltração seja representativa. Desta

forma, deve-se reconhecer previamente à urbanização, as características geomorfológicas e pedológicas que condicionam os processos hidrodinâmicos naturais para que mediante o zoneamento, sejam impostas restrições e orientações à ocupação.

A bacia hidrográfica é uma unidade de análise fundamental na compreensão e gestão da dinâmica das águas nas áreas urbanas, no entanto, suas dimensões não privilegiam a análise das características naturais onde se assenta a propriedade urbana – o lote, uma vez que mesmo as bacias hidrográficas de primeira ordem apresentam grande variabilidade nas características físicas. Há, portanto, a necessidade de uma unidade física espacial de detalhe, compatível com a escala em que são definidos os padrões de uso e ocupação do solo. Neste contexto, destaca-se a vertente como unidade espacial de análise hidrogeomorfológica que conecta dinamicamente o topo e o fundo de vale, além de configurar-se como elemento dominante do relevo, onde se materializam as relações das forças produtivas e ficam impregnadas as transformações que compõem a paisagem.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo propor diretrizes para um planejamento urbano em conformidade com as características hidrogeomorfológicas de vertentes inter-relacionando planejamento urbano e análise físico territorial. Como objetivos específicos buscou-se: analisar concomitantemente os atributos geomorfológicos e pedológicos de uma vertente não urbanizada a partir do mapeamento geomorfológico, levantamento topográfico de detalhe e caracterização de atributos pedológicos (granulometria, taxa de infiltração e resistência à penetração); definir índices urbanísticos, taxas de ocupação e tipos de usos adequados com base nas características da vertente, estabelecendo um zoneamento ambiental-urbano, que propicie o controle da produção do escoamento; analisar a legislação de parcelamento de solo urbano e ambiental e compará-la criticamente com as potencialidades e fragilidades diagnosticadas nos levantamentos.

Delimitou-se para estudo de caso uma vertente localizada na cidade de Rio Claro-SP, representativa das cidades médias paulistas, que vêm apresentando intenso aumento populacional nas últimas décadas. A vertente em estudo ocupa uma área de aproximadamente 1,48 Km<sup>2</sup> e localiza-se em setor da margem direita do ribeirão Claro, nas proximidades do bairro Bela Vista. Embora tal vertente tenha um setor ocupado pela Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade e outro pela Universidade Estadual Paulista – UNESP e, portanto não se classifica, segundo o Plano Diretor de Rio Claro (LEI 3806/2007), como área passível de ser loteada, suas características físicas (geológicas, pedológicas e geomorfológicas) são representativas das demais vertentes definidas como propícias à expansão urbana. Outro fator para sua escolha foi a facilidade de acesso devido à proximidade

com o campus universitário em que a pesquisa está sendo desenvolvida, tendo em vista a grande quantidade de dados a serem levantados em campo.

Os resultados desta pesquisa são apresentados a seguir, em forma de dissertação. Inicia-se com uma revisão acerca da teoria geossistêmica e do materialismo histórico (Item 1.2), demonstrando-se o posicionamento adotado frente ao desafio teórico e metodológico de articular, em um modelo coerente, a análise dos aspectos naturais e sociais inerentes a esta pesquisa (Item 1,3); No capítulo 2, apresenta-se uma revisão referente ao espaço urbano e enfatiza-se o papel do Estado na construção da sustentabilidade através do princípio constitucional da função social da propriedade e do zoneamento urbano. No item 2.6, apresenta-se uma revisão acerca das diretrizes de uso e ocupação do solo urbano e enfatiza-se a potencialidade de conciliar padrões urbanísticos aos princípios da drenagem urbana sustentável. O capítulo 3, apresenta uma revisão de conceitos intrínsecos à análise geomorfológica proposta para a vertente, e introduz aspectos referentes ao impacto da urbanização no sistema hidrológico e fundamentos de drenagem urbana sustentável. Na sequência, busca-se contextualizar, através de dados secundários, a área de estudo (Capítulo 4) e apresentam-se os procedimentos técnicos e metodológicos adotados para alcançar os objetivos propostos (Capítulo 5). No Capítulo 6 apresentam-se os resultados e discussões seguidos das considerações finais (Capítulo 7).

## **1.2 Teoria Geossistêmica e o Materialismo Histórico para a Prevenção do Impacto**

Sotchava, em 1962 introduziu o termo geossistema na literatura soviética com a preocupação de estabelecer uma tipologia aplicável aos fenômenos geográficos, enfocando aspectos integrados dos elementos naturais numa entidade espacial em substituição aos aspectos da dinâmica biológica dos ecossistemas. O geossistema resultaria da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não apresentando, necessariamente, homogeneidade fisionômica e sim, um complexo essencialmente dinâmico. (CHRISTOFOLETI, 1999).

O geossistema pode ser definido como:

[...] uma organização espacial resultante da interação dos elementos e componentes físicos da natureza (clima, topografia, rochas, água, vegetação, animais, solo) possuindo expressão espacial na superfície terrestre e representando uma organização (sistema) composta por elementos, funcionando através de fluxos de energia e matéria, dominante numa interação areal. (CHRISTOFOLETI, 1999 p. 42)

Desde a introdução da teoria geossistêmica, muito se tem avançado no sentido de permitir uma análise da relação sociedade-natureza. Mesmo Soctchava (1977) já apontava que na concepção de geossistema haveria uma conexão da natureza com a sociedade, pois embora os sistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais influenciando sua estrutura são levados em consideração durante sua análise.

Alguns autores como Monteiro (1978, apud CHRISTOFOLETTI, 1999) consideram que os sistemas socioeconômicos estão incluídos no funcionamento do geossistema. Para ele, os produtos dos sistemas socioeconômicos entram como *inputs* e interferem nos processos e fluxos de matéria e energia. Neste mesmo sentido, para Soctchava (1997), os aspectos antropogênicos do ambiente são ligações diretas, *feed-backs* com o sistema natural, e as paisagens antropogênicas são consideradas apenas como estados variáveis de primitivos geossistemas.

Realmente, o elemento humano pode ser considerado no quadro teórico do geossistema, seja como componente biótico (diretamente), seja como componente antrópico (indiretamente). No entanto, não basta uma explicação geossistêmica da sociedade por não existir nela uma explicação ecológica *stricto sensu*. (BEROUTCHACHVILI; BERTRAND, 1978)

Estudiosos como Caseti (1991), Coelho (2001), Oliveira (1997) dentre outros, consideram que os trabalhos que se vinculam à análise geossistêmica, embora demonstrem certo esforço no sentido de incluir a análise social no seu escopo, não têm produzido resultados satisfatórios, contentando-se em incluir elementos humanos e/ou econômicos em suas interpretações.

Por outra perspectiva, com ênfase nos estudos da sociedade, Marx elaborou como crítica à economia clássica, a teoria denominada “materialismo histórico” ou “dialética materialista”. De acordo com tal teoria, é através da transformação da *primeira natureza* em *segunda natureza* que o homem produz os recursos indispensáveis para sua existência. Para ele, a natureza separada da sociedade não tem significado. A dialética de Marx descreve a produção como um processo pelo qual a natureza é alterada, considerada um depósito inegotável de trabalho para o homem. Tal teoria desvinculou o homem do mundo animal,

como fenômeno sociobiológico, e determinou que sua população é, em primeiro lugar, uma formação social (CASSETI 1991). Desta forma, na abordagem dialética de Marx o homem é o sujeito das interações sociais, e a natureza, objeto dessas relações, mediadora das relações do homem.

É evidente que tal abordagem privilegia uma importante aproximação entre o social e o natural, enriquecendo as análises geográficas. No entanto, enfatiza a interpretação das relações sociais e a apropriação da natureza (natureza enquanto recurso indispensável à vida humana) em detrimento da interpretação das leis naturais. Portanto, sob esta abordagem é constante o desenvolvimento de trabalhos que enfatizam o processo de criação de valor da natureza (transformação da primeira natureza em segunda natureza) e as relações sociais envolvidas neste processo.

A premissa desta teoria de que o modo como os homens se relacionam entre si determina o modo como os homens relacionam-se com a natureza (CASSETI, 1991) insere uma grande contribuição à análise geográfica. No entanto, a natureza aparece como algo passível de ser dominado pela sociedade. O homem teria total controle sobre esta e tal controle seria independente das leis naturais.

De acordo com os trabalhos de Caseti (1991), Rodriguez e Silva (2005), essa abordagem permite uma inter-relação com a análise sistêmica dos elementos naturais, principalmente nos estudos ambientais. Seria, portanto, o reconhecimento da natureza como ser ativo na produção social, e mais precisamente sócio-espacial. Diante dos inúmeros problemas ambientais que esta relação tem produzido na história do homem, o reconhecimento das leis naturais de forma a orientar a apropriação da natureza se faz indispensável.

Rodriguez e Silva (2005) acreditam haver uma concepção sistêmica a partir da perspectiva dialética e neste sentido, afirmam que a perspectiva dialética é a ciência das leis gerais do desenvolvimento da natureza, sociedade e pensamento humano; tendo como elemento essencial a consideração de que, para solucionar problemas, o ser humano precisa ter uma noção do conjunto, que é sempre provisória, e que a realidade é sempre mais rica que o conhecimento. A estrutura significativa da realidade é o que se conhece como totalidade, que é mais que a soma das partes que a constituem.

A interação sociedade/natureza se concretiza com o processo de trabalho. Sem o trabalho não é possível o intercâmbio de matéria entre a natureza e a sociedade, e por conseqüência não seria possível a mesma vida humana. Das condições naturais em grau significativo depende a produtividade do trabalho (RODRIGUEZ; SILVA, 2005). Para os

autores, o fundamento teórico marxista leva de maneira direta a um tratamento particular de construir uma teoria ambiental e geográfica através da concepção sistêmica, ou seja, considerando o meio ambiente como sistemas ambientais.

Coelho (2001) afirma que a teoria de Marx e Engels responde ao desafio teórico e metodológico de articular num modelo coerente às análises dos processos naturais e sociais. Para os estudos de impactos ambientais em áreas urbanas, a autora recorre à análise das leis naturais, através da concepção de ecossistema, como se esta já estivesse implícita na teoria marxista. É evidente em seu texto que a postura metodológica por ela defendida, denominada “economia política ou ecologia política”, vai além das ideias de Marx e Engels, reconhecendo a investigação das leis naturais como fundamental nas análises geográficas. Para a geografia, mais importante que o ecossistema é o reconhecimento do geossistema, no qual as investigações funcionais são mais amplas, envolvendo todas as relações no complexo natural. A autora referida contribui neste sentido ao focar o que ela chama de “sistemas complexos, não lineares e longe do equilíbrio” para os estudos ambientais e é incisiva quanto à necessidade de um diálogo entre os cientistas físicos e humanos. Seu trabalho é de grande relevância para a superação do problema aqui apresentado.

Duas relutâncias precisam ser vencidas: (1) dos cientistas físicos em entenderem os princípios da estruturação da sociedade; e (2) dos cientistas sociais de familiarizarem-se com os princípios básicos da física, da mecânica e da química e com os processos que incluem a interação entre características físicas e morfológicas, isto é, as interações entre materiais do solo, água, vegetação, gravidade, transporte, redeposição de materiais e movimentos de massa. (COELHO 2001 p. 31-32).

Embora os trabalhos geográficos desenvolvidos mediante a abordagem materialista histórica sempre tenham privilegiado a análise dos processos socioeconômicos, esta responde ao desafio teórico e metodológico de articular num modelo coerente às análises dos processos naturais e sociais; portanto, acredita-se ser enriquecedora a junção entre a abordagem materialista histórica e análise geossistêmica, visto que, cada qual responde a determinadas indagações da complexa relação sociedade e natureza, possibilitando a compreensão do espaço geográfico sem privilegiar os aspectos físicos em detrimento dos aspectos sociais - ou vice e versa - e desta forma alcançar o objetivo da geografia enquanto ciência única – ou seja, a compreensão do espaço total.

A mitigação dos impactos no ciclo hidrológico decorrentes da urbanização de uma vertente pauta-se, nesta pesquisa, no estabelecimento de diretrizes de ocupação que sejam



compatíveis com as características do ambiente físico (características geomorfológicas e pedológicas), inter-relacionando planejamento urbano e análise ambiental.

Para que a urbanização de uma área ocorra de forma sustentável no contexto da drenagem urbana, ou seja, que o sistema de drenagem mantenha as condições naturais ou pré-ocupação do escoamento superficial, é preciso partir de um conhecimento prévio das características físicas (geomorfológicas, pedológicas, entre outras) para conhecer o grau de suscetibilidade do sistema à mudança e definir um zoneamento com restrições e orientações à ocupação.

Tendo em vista, que as regras de ocupação que determinam a situação de degradação marcantes nas cidades, atualmente estão vinculadas ao modelo socioeconômico capitalista, faz-se necessário, durante a elaboração deste zoneamento, conhecer as leis que regem a transformação do solo urbano em mercadoria, bem como as implicações deste processo na espacialização diferencial das classes.

Desta forma, há dois momentos distintos de investigação que se complementam para a elaboração de um modelo de urbanização:

- um primeiro momento em que a investigação das características da vertente se pautará na análise geossistêmica, uma vez que, esta será a unidade de investigação e trata-se de uma unidade hidrogeomorfológica, onde o fluxo de matéria (água e detritos) e energia (potencial e cinética) que se manifesta no interior deste sistema é responsável, entre outras variáveis, pela intensidade dos processos geomórficos;
- e um segundo momento, durante a proposta de elaboração do zoneamento, da definição de taxas, índices, tipos de usos em conformidade com as características previamente analisadas, em que será considerada a abordagem materialista histórica, uma vez que, as restrições do zoneamento devem orientar a organização espacial da sociedade.

A relevância da abordagem materialista histórica torna-se mais enfática quando se considera que o zoneamento, no Brasil, é um instrumento que efetiva o princípio constitucional da “Função Social da Propriedade”. Deve-se considerar, portanto, que a sustentabilidade urbana só se efetiva quando a propriedade cumpre sua função social. Ou seja, as diretrizes de ocupação urbana com base na análise do sistema natural só se efetivarão mediante as restrições impostas à propriedade privada, enquanto unidade espacial da organização da sociedade. A figura 1 permite visualizar a relação entre as duas abordagens na prevenção e/ou mitigação do impacto ambiental urbano.

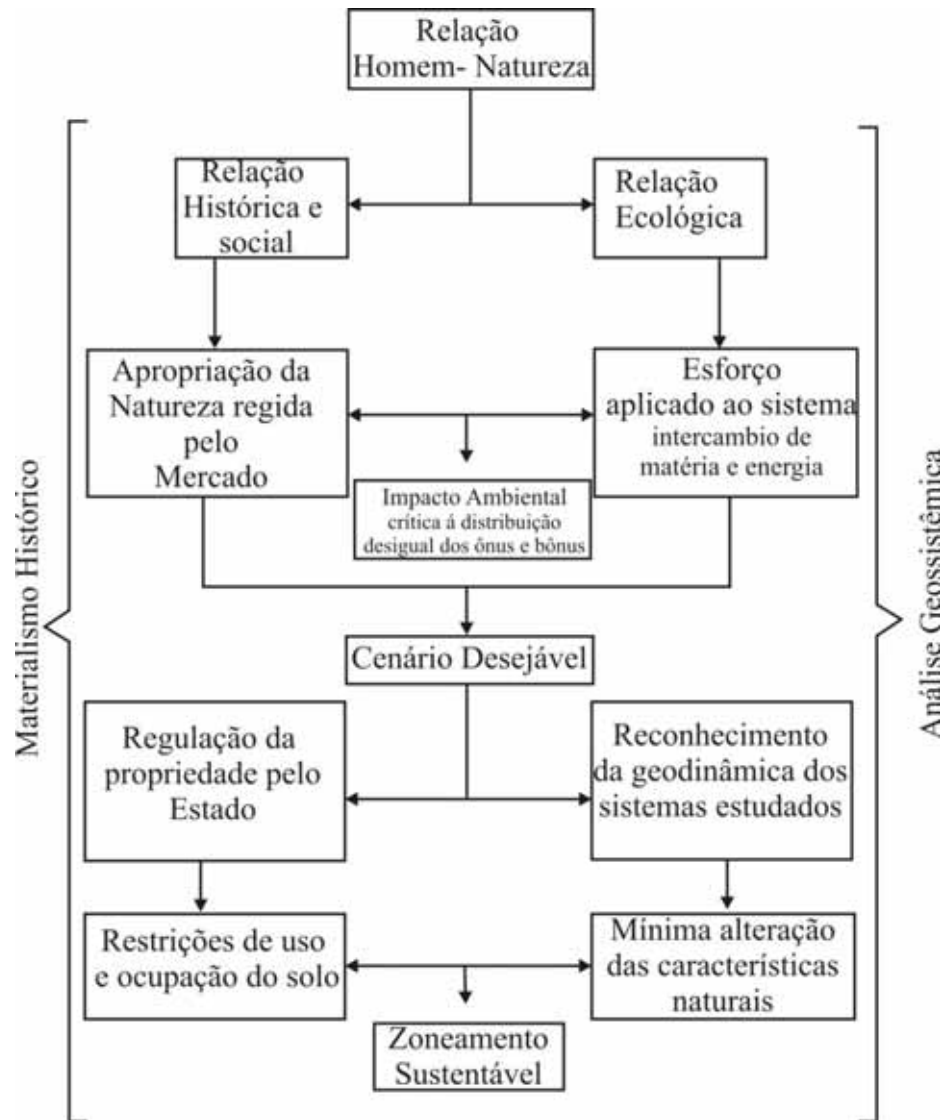


Figura 1: Cenário analítico para o planejamento urbano sustentável. Elaboração: o autor

Neste cenário, parte-se da premissa de que a relação homem-natureza é relação ecológica e relação histórico-social. A urbanização ocorre mediante a apropriação da natureza, regida pelas regras do mercado. As relações de propriedade do sistema capitalista estão diretamente relacionadas ao esforço que é aplicado ao sistema natural (fluxo de matéria e energia) ao mesmo tempo em que, o desequilíbrio do sistema (impacto ambiental), e mesmo a vulnerabilidade ao desequilíbrio, respondem pela espacialização diferencial das classes socioeconômicas.

O planejamento urbano acontece como forma de mitigar os impactos ambientais, quando o sistema já se encontra em desequilíbrio e com consequências para a sociedade – distribuição desigual dos ônus e bônus. Neste modelo, propõe-se que o planejamento

anteceda o impacto, partindo do conhecimento prévio das leis naturais e das leis sociais, ou seja, da compreensão do espaço total.

Desta forma, a propriedade privada (entendida como natureza apropriada) observará restrições de uso e ocupação do solo, definidos em um zoneamento urbano ambiental baseado no conhecimento da geodinâmica dos sistemas naturais (grau de suscetibilidade à mudança). Enfim, considera-se que esta análise permite propor um modelo de urbanização sustentável com mínima alteração das características naturais, contribuindo para a qualidade de vida e ambiental urbana. Nesta perspectiva, a análise geossistêmica e o Materialismo Histórico se fundem e se complementam na interpretação e mitigação dos problemas ambientais.

## 2 O ESPAÇO URBANO

---

### 2.1 A Cidade Capitalista

O primeiro trabalho epistemológico do cientista é entender sua época (SANTOS, 1993) e para tanto se faz necessário considerar um aspecto dominante da paisagem atual - a cidade, o urbano. “A cidade é, em cada época, o produto de uma organização das relações econômicas e sociais” (CARLOS, 1994, p. 68). O fenômeno urbano característico das sociedades modernas difere das primeiras formas de cidades, evoluídas dos primitivos aglomerados humanos. A cidade sofreu uma progressiva mudança de natureza, não só por força dos impulsos aglomerativos, mas também por sua forma de organização. (SANTOS JR, 1995)

Atualmente a urbanização é um fenômeno mundial que está estreitamente relacionado ao desenvolvimento das forças produtivas. A forma de organização urbana atual tem suas raízes na primeira Revolução Industrial e está inserida no contexto do desenvolvimento da produção capitalista. Castells (1983), a interpreta como um processo de organização do espaço, que repousa sobre dois conjuntos de fatos fundamentais: a decomposição das estruturas sociais agrárias com emigração da população para centros urbanos, fornecendo mão de obra necessária à industrialização e a transição progressiva da economia doméstica para uma economia de fábrica, resultando em concentração de mão de obra, criação de um mercado e constituição de um meio industrial.

Para o autor, o termo urbanização refere-se ao mesmo tempo:

[...] à constituição de formas espaciais específicas das sociedades humanas, caracterizadas pela concentração significativa das atividades e das populações num espaço restrito, bem como à existência e a difusão de um sistema cultural específico, a cultura urbana. (CASTELLS, 1983 p. 24)

A organização espacial e cultural é característica da sociedade industrial capitalista e neste contexto, a cidade é entendida como uma forma espacial, socialmente produzida mediante a progressiva capacidade de acumulação (relação investimento/consumo).

A cidade, portanto, não é apenas o locus da produção capitalista, mas também produto - histórico e social. O espaço urbano é produto do trabalho humano materializado mediante a

relação do homem (enquanto ser social) com a natureza. Sua compreensão ocorre mediante a análise da sociedade em seu conjunto, de seus elementos constitutivos e sua história. Enquanto produto do capital, a cidade é fruto de suas relações sociais contraditórias, produto da luta de classes. O urbano se produz, a cidade se estrutura e a paisagem urbana ganha sua configuração no embate entre o que é bom para a sociedade e o que é bom para o capital. (CARLOS, 1994)

A segregação das classes sociais, entendida como o processo em que diferentes classes sociais tendem a se concentrar em diferentes regiões ou bairros é materializado mediante o acesso diferencial a terra, o tamanho e o tipo do lote, a localização (VILLAÇA, 2001). Lojkin (1981, apud Villaça, 2001), compreende a segregação como uma manifestação da renda fundiária que é produzida pelos mecanismos de formação de preços do solo e estes por sua vez, são determinados pela divisão social e espacial do trabalho. Neste contexto é sempre a camada de alta renda que pode escolher onde vai morar:

O espaço urbano é produzido e consumido por um mesmo e único processo. A sua estruturação interna, entretanto, se processa sob o domínio de forças que representam os interesses de consumo (condições de vida) das camadas de mais alta renda [...] tal estruturação se dá sob a ação do conflito de classes em torno de vantagens e desvantagens do espaço urbano, ou [...] parafrazeando Castells, em torno da disputa pela apropriação diferenciada do espaço urbano enquanto produto do trabalho. (VILLAÇA 2001, p. 328)

Os fatores que contribuem para o preço diferencial do solo urbano e reforçam o acesso desigual a este, são em síntese: acessibilidade – otimização dos gastos com tempo, acesso ao centro e serviços públicos e privados; distribuição desigual dos investimentos de infraestrutura; provimento de segurança; disponibilidade de serviços públicos; busca por posição social, status, proximidade com os iguais; qualidade ambiental e paisagística.

A diferenciação do preço do lote se justifica pela escassez e/ou distribuição diferenciada destes elementos no espaço urbano, criando setores de valorização e setores de desvalorização imobiliária. Em síntese, as necessidades de habitação não fogem ao controle do capital uma vez que a cidade se produz mediante a propriedade privada.

Associado ao caráter da propriedade privada e a conversão do espaço em mercadoria, tendo como consequência o acúmulo de capital, está a degradação ambiental e o antagonismo de classe. A forma de apropriação e transformação da natureza responde pela existência dos problemas ambientais, cuja origem encontra-se determinada pelas próprias relações sociais (CASSETI,1991). As leis de mercado, pautadas na lucratividade, ditam as regras de

exploração da natureza enquanto recursos e, ao mesmo tempo regem a exploração da força de trabalho, orientando a produção e espacialização das relações humanas (OLIVEIRA, 1997). À população de menor poder aquisitivo resta residir em áreas de maior fragilidade ambiental, que lhes são oferecidas por preços mais acessíveis. Caseti (1991) discorrendo sobre a relação entre fragilidade ambiental e segregação sócio-espacial aponta que:

[...] as propriedades geológicas convertem-se em propriedades sócio-reprodutoras (como suporte ou recurso), momento em que surgem as conseqüências ambientais. Deve-se considerar que a escala de abrangência de tais problemas aumenta numa relação direta ao processo e modo de produção quando os homens contraem determinados vínculos e relações sociais. (CASSETI, 1991 p. 32-33)

Neste mesmo sentido, Oliveira (1997), aponta que as desigualdades sociais são reforçadas, entre outros fatores, pelo acesso desigual ao ambiente bom e saudável. As disparidades socioeconômicas inevitavelmente se materializam na interação entre as variáveis: áreas degradadas, valor da terra e poder de compra.

## **2.2 Sustentabilidade Urbana**

O conceito de sustentabilidade, enfatizado pelo discurso ecológico atual surgiu na década de 1970, com o nome de ecodesenvolvimento. Este aparece nos relatórios da União Internacional para a Conservação da Natureza no início dos anos de 1980, sendo posteriormente popularizado pelo chamado Relatório Brundtland (Nosso futuro comum) em 1987. Foi o canadense Maurice Strong que usou em 1973 pela primeira vez o conceito de ecodesenvolvimento para caracterizar uma concepção alternativa de política do desenvolvimento e Ignacy Sachs formulou os princípios básicos desta nova visão do desenvolvimento. De acordo com Sachs, os aspectos, que deveriam guiar os caminhos do desenvolvimento seriam: a satisfação das necessidades básicas; a solidariedade com as gerações futuras; a participação da população; a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral; a elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas e programas de educação. (BRÜSEKE, 1995)

O relatório Brundtland, parte de uma visão complexa das causas dos problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade global e destaca a interligação entre economia, tecnologia, sociedade e política, e chama também atenção para uma nova postura ética, caracterizada pela responsabilidade tanto entre as gerações quanto entre os membros contemporâneos da sociedade atual (ROMEIRO, 2001). De acordo com tal documento, desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades atuais sem sacrificar a habilidade do futuro satisfazer as suas.

O espaço urbano sempre foi concebido pelo viés da insustentabilidade. Tal premissa começa a ser questionada na Conferência das Nações Unidas sobre os Assentamentos Humanos – HABITAT II, em Istambul-1996, em que foi aprovada a Agenda HABITAT, na qual, o conceito de sustentabilidade ganhou considerações a respeito de suas aplicações no espaço urbano. A noção de que as cidades são necessariamente espaços insustentáveis, que não podem produzir o que consomem e não podem eliminar adequadamente o que rejeitam, perde força e a urbanização passa a ser considerada um fato irreversível, mas administrável. A cidade deixa de ser um espaço ambientalmente insustentável, para transformar-se em um espaço social e ambiental com grande potencial de soluções criativas. (DUTRA, et al., 2004).

Acsehrad (1999) apresenta as três “matrizes discursivas da sustentabilidade urbana”:

Representação Tecno-Material das Cidades: associa a transição para a sustentabilidade urbana à reprodução adaptativa das estruturas urbanas com foco no ajustamento das bases técnicas das cidades, baseado em modelos de “racionalidade ecoenergética” ou de “metabolismo urbano”. A cidade será vista em sua continuidade material de estoques e fluxos.

Nesta perspectiva a cidade sustentável será:

[...] aquela que, para uma mesma oferta de serviços, minimiza o consumo de recursos materiais, explorando ao máximo os fluxos locais e satisfazendo o critério de conservação de estoques e de redução do volume de rejeitos. Vigora aqui uma representação técnico-material da cidade como uma matriz composta por um vetor de consumo de espaço, energia e matérias-primas e um vetor de produção de rejeitos. (DÉLÉAGE, 1995, p.35 apud ACSELRAD, 1999, p.82)

Segundo o autor, por tal leitura, a cidade é interpretada como um sistema termodinâmico aberto onde a produção crescente de entropia é privilegiada. A insustentabilidade urbana é, nesta perspectiva, uma expressão social da irreversibilidade termodinâmica. “Neste contexto caberia ao planejamento urbano minimizar a degradação energética e desacelerar a trajetória da irreversibilidade” (ACSELRAD, 1999 p. 82).

Tal representação das cidades aponta para novos modelos técnicos do urbano, fundados na racionalidade econômica aplicada aos fluxos de matéria-energia. Para se reduzir o impacto entrópico das práticas urbanas, caberia assim adotar tecnologias poupadoras de espaço, matéria e energia, e voltadas para a reciclagem de materiais. A insustentabilidade decorreria das desigualdades locacionais dos recursos e da população, das pressões excessivas sobre o meio físico e sobre os sistemas ecológicos regionais e a sustentabilidade decorreria da redistribuição espacial da pressão técnica de populações e atividades sobre os recursos ambientais urbanos. (ACSELRAD, 1999)

A Cidade como espaço da qualidade de vida: pauta-se em componentes não mercantis da existência cotidiana e cidadã da população urbana – pureza, cidadania e patrimônio.

As substâncias nocivas presentes nas cidades, resultantes das tecnologias urbanas, são entendidas como imposição de consumo de produtos invendáveis das atividades mercantis. Tais implicações sanitárias associam-se à noção coletiva da cidadania.

Emelionoff (apud ACSELRAD, 1999) afirma que tal representação da cidadania urbana tende a transferir-se para o conjunto das políticas urbanas, justificando estruturas que favorecem o desenvolvimento do diálogo, negociação e a realização de pactos de atribuição de sentido à duração das cidades, não só em sua materialidade, mas como institucionalidade sócio-política.

A noção de sustentabilidade aparece, neste sentido associada à categoria patrimônio, *de* forma a contribuir com a duração da existência simbólica de sítios construídos ou sítios naturais, bem como com o fortalecimento do sentimento de pertencimento dos habitantes às suas cidades. Neste contexto: é promovida uma imagem do patrimônio biofísico, estético e cultural de modo a atrair capitais na competição global.

Alguns autores (BREHENY; ROOKWOOD, 1996; CAMAGNI; GIBELLI, 1997 apud ACSELRAD, 1999) defendem a premissa de que, no contexto da qualidade de vida urbana a forma da cidade seria um fator determinante da sustentabilidade. A noção de cidade compacta reuniria os atributos de alta densidade e uso misto, apresentando eficiência energética por reduzir as distâncias dos trajetos, maximizar a oferta de transporte público e prover qualidade de vida superior aos residentes (ACSELRAD, 1999)

A cidade como espaço de legitimação das políticas urbanas: nesta perspectiva a ideia de sustentabilidade articula-se às condições de construção política da base material das cidades. São elementos determinantes da sustentabilidade neste contexto, a eficiência e a equidade da distribuição e acesso desta base material.



A insustentabilidade exprime, assim, a incapacidade das políticas urbanas adaptarem a oferta de serviços urbanos à quantidade e qualidade das demandas sociais, provocando um desequilíbrio entre necessidades quotidianas da população e os meios de as satisfazer, entre a demanda por serviços urbanos e os investimentos em redes e infra-estrutura. (Godard,1996, p.31 apud ACSELRAD, 1999, p.31)

Quando o crescimento urbano não é acompanhado por investimentos em infraestrutura, acentua-se o déficit na oferta de serviços, o que se rebaterá espacialmente sob a forma de segmentação sócio-territorial entre populações atendidas e não-atendidas pelos serviços de infraestrutura urbana. A insustentabilidade seria determinada, portanto pela incapacidade de imprimir eficiência na administração dos recursos públicos ou pela indisposição para democratizar o acesso aos serviços urbanos. (ACSELRAD, 1999)

A erosão da legitimidade das políticas urbanas pode fundar-se, assim, na insuficiente adesão à racionalidade econômica, causa suposta do desperdício da base de recursos ou, alternativamente, na ausência de priorização de mecanismos distributivos do acesso a tais serviço. (ACSELRAD, 1999, p. 86)

A relação entre as políticas públicas e a sustentabilidade aponta, portanto para a imprescindível atuação do Estado na regulação das desigualdades sócio-espaciais no processo de produção do espaço urbano. Bucci (apud SILVA 2003, p. 6) define políticas públicas como “processo ou conjunto de processos que culmina na escolha racional e coletiva de prioridades, para a definição dos interesses públicos reconhecidos pelo direito”. Entre os interesses públicos reconhecidos pelo direito encontra-se o direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, englobando o meio ambiente urbano.

Neste sentido, Amado (2007) afirma que a operacionalização do conceito de desenvolvimento sustentável é garantida mediante o planejamento urbano e territorial. O planejamento territorial, veículo das ações de transformações do uso do solo e de promoção da qualidade de vida, sempre integrou princípios do desenvolvimento sustentável através de objetivos, de programas de longo prazo e da inter-relação entre as dimensões sociais, econômicas e ambientais (WINTERS, 1994 apud AMADO, 2007)

### **2.3 O Papel do Estado na Produção do Espaço Urbano Sustentável**

O poder é a “habilidade humana de agir em comum acordo” (ARENDRT apud SOUZA, 1995) e, portanto, não é propriedade de um indivíduo, mas pertence a um grupo e existe apenas enquanto o grupo estiver unido. O Estado, portanto não detém o poder, quem o detém é a sociedade e a figura do Estado é o meio pelo qual este se efetiva.

No entanto, ao poder da sociedade se contrapõe o poder do capital e entre estes está o Estado, que não deve ser entendido como um braço repressivo da classe dominante, mas como a condensação de uma relação de forças (SOUZA, 2002).

Santos (2000) afirma que na sociedade capitalista, a autoridade escapa ao Estado e é entregue para as empresas que estabelecem normas de convivência entre as pessoas, sem ter mandato da sociedade, desorganizando os territórios socialmente e moralmente. Portanto o controle do espaço pelo Capital é ilegítimo.

A cidade, enquanto produto e meio de reprodução do sistema capitalista é injusta e o direito a ela é naturalmente desigual entre as classes sociais. A produção da moradia e da cidade, sob o modo de produção capitalista, ocorre principalmente sob o comando dos empreendedores privados, e o setor público tem um papel secundário que se viabiliza especialmente mediante a gestão e regulação das atividades empresariais. (BARBOSA; CARVALHO, 2008)

Portanto, ao planejar o espaço urbano, o Estado depara-se com um problema inevitável: a dificuldade de alcançar a justiça social em um espaço que pertence e é produzido pelo capital e que, portanto é essencialmente desigual e injusto. Desta forma, o planejamento e a gestão urbana, que deveriam prestar-se aos interesses coletivos, amenizando as disparidades de acesso à qualidade de vida e enfrentando as contradições do espaço urbano, rendem-se às necessidades de manutenção da reprodução do capital. Os planejadores, muitas vezes, assumem a missão de criar as condições para a sobrevivência do sistema, e de maneira ilegítima desfavorecem os interesses coletivos.

No entanto, enquanto representante legítimo dos interesses sociais coletivos, o Estado deve regular a produção da cidade e da propriedade como meios capazes de propiciar a dignidade do ser humano como valor supremo que se sobrepõe aos interesses privados.

Desta forma, consciente das contradições estruturais do sistema, o Estado deve prestar-se a um planejamento cujo objetivo:

“não é o ‘equilíbrio’ (idéia sempre artificial e ideológica em uma sociedade de classes) e a conciliação de interesses a todo custo, mas a promoção de maior justiça social (e de melhor qualidade de vida nos marcos da justiça social), sobre a base da explicitação dos conflitos latentes e do estímulo ao diálogo racional [...]” (SOUZA, 2002, p. 86-87)

Inúmeros estudiosos afirmam que não é possível tratar a problemática ambiental apenas através de instrumentos econômicos, uma vez que o capitalismo de mercado sobrevive, mesmo que às custas de uma ineficiência ambiental, sendo necessário para tanto, uma intervenção permanente dos poderes públicos através do que se convencionou chamar instrumentos de comando e de controle. Conforme aponta Romeiro (1999), cabe ao Estado reconhecer os limites absolutos a expansão do sistema econômico para estabilizar a produção material/energética a um nível sustentável. O autor aponta que esta situação não implica ausência de desenvolvimento, mas um tipo de desenvolvimento que se define pela melhoria qualitativa na transformação e uso dos recursos naturais através da ciência e tecnologia, em acordo com um padrão de consumo menos centrado no uso de recursos não renováveis. Em suma, conforme afirma Sthahel (1995), a única forma de alcançar equilíbrios qualitativos, (leia-se aqui sustentabilidade) no processo de produção capitalista é mediante negociação e controle político.

No Brasil, o princípio constitucional “função social da propriedade” busca garantir que o direito à propriedade não ocorra em detrimento da qualidade de vida coletiva e, constitui elemento essencial na construção sustentável das cidades. A formulação de tal conceito surgiu em contrapartida à crescente evidência das desigualdades sociais no espaço urbano, atreladas ao modelo socioeconômico vigente que tem a propriedade privada como elemento estrutural.

Barroso Filho (2001) afirma que a propriedade vista como um direito absoluto não contribui para o crescimento da sociedade, ao contrário, dissocia ricos e pobres, gerando grande conflito, desencadeando uma crise em busca de nova conformação social.

A função social da propriedade surge, efetivamente, na legislação e no meio social brasileiro, como reflexo da pressão e dos questionamentos oriundos da própria sociedade. As décadas de 1950 a 1970 conduziram os trabalhadores rurais e de cidades mais pobres para os grandes centros urbanos, à procura das oportunidades decorrentes da industrialização muito propagandeada pelos meios de comunicação. Esse efeito migratório gerou um desproporcional inchaço das cidades, que não tinham organização nem infraestrutura para

absorver tamanho contingente populacional. Desta forma, em meados das décadas de 1960 e 1970, com a população urbana representando mais de 70% da população brasileira, as cidades despontaram como foco dos conflitos. O povo não queria somente o emprego, reivindicava dignidade, qualidade de vida e moradia digna. (CARVALHO, 2001)

A partir do momento em que o Estado não cumpria suas funções, os movimentos sociais urbanos surgiram como práticas sociais, que se organizaram por moradia, emprego, consumo e distribuição de renda, manifestando-se em relação às decisões do Estado e pressionando as atividades jurídicas e legislativas. Desta forma, a instituição da função social da propriedade por meio da Constituição de 1988 confirma a influência da atuação dos movimentos sociais contra a estruturação do Estado Capitalista. (CARVALHO, 2001).

O Estatuto da Cidade (LEI 10.257/01) constitui elemento indispensável para a efetivação da função social da propriedade urbana. Para Santin e Gomes (2006) a efetiva aplicação da Lei 10.257/2001 é uma mudança de paradigmas, não só dos aplicadores do direito, mas do todo social, a fim de pensar e repensar a propriedade e a cidade como meios capazes de propiciar a dignidade do ser humano como valor supremo, sobrepondo o bem maior “vida” ao bem “patrimônio”.

Santin e Gomes (2006) afirmam que, no contexto constitucional do Estatuto da Cidade, a propriedade urbana tem função social, não sendo simplesmente considerada como um imóvel no qual incidem impostos, mas destinada à concretização do direito à moradia (art. 6º da Constituição Federal de 1988, inserido pela Emenda Constitucional n. 26/200), assegurando a dignidade da pessoa humana. Com essa busca ao bem comum, a lei supera a clássica dicotomia do direito público e do direito privado, buscando a real função da propriedade urbana para que esta atenda ao bem-estar, segurança e dignidade de todos os municípios e não apenas o interesse particular de seu proprietário.

O Estatuto da Cidade vem contribuir para a flexibilização do direito à propriedade plena, possibilitando o surgimento de cidades com melhores condições de moradia, saneamento básico, ordenamento e planejamento urbano; em suma, um ambiente artificial sustentável e viável para as futuras gerações, a ser usufruído pelos cidadãos. Para que isso seja possível, são fixadas diretrizes gerais que nada mais são que critérios para efetivação do Estatuto. A Lei ainda prevê instrumentos que, além de terem finalidade de fazer com que o princípio da função social da propriedade se efetive, disciplina vários institutos jurídicos e políticos já presentes na Constituição Federal. Um dos instrumentos jurídicos mais importantes para a efetivação da função social da propriedade, segundo o Estatuto da cidade, é o planejamento municipal:

Art. 39 - A propriedade urbana cumpre sua função quando atende á exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor, assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto á qualidade de vida, à injustiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas, respeitadas as diretrizes previstas no art. 2º desta Lei. (ESTATUTO DA CIDADE - LEI 10.257/01, art. 39)

A figura do Plano Diretor é o instrumento básico da política nacional de desenvolvimento e expansão da cidade, obrigatório para cidades com mais de 20.000 habitantes. Segundo Bona de Villa (1991), cabe explicitar no Plano Diretor as diretrizes e prioridades que vão orientar o controle do uso e ocupação do solo, e em legislação específica pode-se tratar do detalhamento e da complementação das exigências referentes à localização das atividades urbanas e a relação entre edificações e lotes. Usualmente esse detalhamento forma o conteúdo de uma Lei de Zoneamento.

Embora o artigo 4 do Estatuto da Cidade aponte o Zoneamento Ambiental como um dos instrumento da Política Urbana, os avanços práticos mais significativos introduzido por esta Lei são evidenciados essencialmente no nível social, e no que se refere ao zoneamento urbano, ainda muito influenciados pela tradição funcionalista, as questões do ambiente físico ficam em segundo plano. (CARVALHO; BRAGA, 2005)

## **2.4 Zoneamento Urbano ambiental – A Regulação da Propriedade para a Construção de Cidades Sustentáveis:**

O Zoneamento é uma forma de planejamento físico territorial e, no contexto da legislação urbanística, é o dispositivo legal que o planejamento urbano tem para a implantação de planos de uso do solo<sup>1</sup>, assegurando a distribuição adequada dos usos em uma área urbana, com padrões urbanísticos que garantam condições mínimas de habitabilidade e sustentação de necessidades básicas. (FAZANO, 2001)

Na definição da Carta dos Andes (resultante do Seminário de Técnicos e Funcionários em Planejamento Urbano, em Bogotá, 1958, que estabelecia diretrizes para o planejamento territorial latino-americano), zoneamento é definido como:

---

<sup>1</sup>Os termos “uso da terra” e “uso do solo” são utilizados de forma generalizada para indicar as diferentes formas de ocupação das terras. Lepsch et al. (1991) salientam que o conceito de “solo” é mais restrito, sendo considerado como um conjunto de corpos tridimensionais na superfície terrestre. Já a palavra “terra”, é mais abrangente, pois inclui em seu significado o solo e os vários atributos de uma área, inclusive os resultados da atividade antrópica. Portanto, embora a expressão “uso da terra” seja mais apropriada, a expressão “uso do solo” consolidou-se entre os estudiosos do planejamento urbano referindo-se a uma combinação de um tipo de uso (atividade) e de um tipo de assentamento (edificação).

[...] instrumento legal de que dispõe o Poder Público para controlar o uso da terra, as densidades de população, a localização, a dimensão, o volume dos edifícios e seus usos específicos, em prol do bem-estar social. (CARTA DOS ANDES, 1958, apud CARVALHO, 2000, p. 48).

Ferrari (1977), afirma que no zoneamento o bem estar social está acima dos direitos individuais e em nome da defesa do bem estar social, o poder público pode restringir o direito de construir e o de usar o solo urbano.

O zoneamento foi, desde suas origens, um instrumento de política urbana destinado a mediar os conflitos surgidos na disputa entre vários agentes sociais e econômicos pelo solo urbano e, também, a estabelecer uma localização específica para as diversas atividades urbanas, de modo a promover eficiência e funcionalidade no desempenho das cidades. (NÉRY JUNIOR., 2002). Através da Lei de Zoneamento regula-se a espacialização das atividades urbanas, a altura dos edifícios, o tamanho mínimo dos lotes, o gabarito das construções, a proporção que podem ocupar, entre outros. Define-se zonas urbanas com diferentes regimes devido às diferenças de caráter e função, nas quais as normas impostas são idênticas em zonas da mesma espécie ou dentro da mesma zona.

Por outra perspectiva, denomina-se Zoneamento ambiental aquele que integra as dimensões natural e socioeconômica e as avalia como elementos determinantes dos níveis de preservação ou de degradação do ambiente físico e social. O Zoneamento Ambiental funciona como uma ferramenta para alcançar os objetivos de prevenir, controlar ou monitorar os impactos ambientais e prever os rebatimentos sobre a sociedade. (SILVA, 1997).

De acordo com Oliveira (2003), o Zoneamento Ambiental permite assinalar em escalas locais, ou mesmo regionais, categorias específicas de identificação e avaliação de impactos ambientais, avaliação de recursos naturais, reconhecimento de áreas de riscos geoambientais, avaliação da vulnerabilidade da área à ocorrência de eventos naturais que possam resultar em quadros de impactos catastróficos ou, ainda, avaliação da paisagem como recurso ambiental cênico. Ross (1998) aponta que análises ambientais, na abordagem geográfica, são excelentes suportes técnico-científicos para a elaboração dos zoneamentos ambientais e socioeconômicos, que por sua vez, dão suporte às políticas de planejamento estratégico, em qualquer nível de gerenciamento. Nesta perspectiva, destaca-se a inserção da análise geomorfológica no processo de zoneamento. O relevo, como componente do estrato geográfico no qual vive o homem, constitui-se em suporte das interações naturais e sociais. É de grande relevância que o zoneamento urbano, enquanto dimensão físico territorial do planejamento ambiental urbano, esteja associado à análise geomorfológica, tendo como

premissa o fato de que a topografia é um dos elementos mais importantes na orientação do processo de ocupação das áreas urbanas.

Desta forma, entende-se por Zoneamento Urbano Ambiental aquele que, pautando-se no princípio da função social da propriedade, tem por objetivo definir padrões de uso e ocupação do solo urbano, incorporando a análise físico territorial do sítio em que a cidade se desenvolve. Constitui-se assim, no instrumento através do qual se efetiva o planejamento urbano sustentável.

## **2.5 Diretrizes de Uso e Ocupação do Solo na Perspectiva da Sustentabilidade Urbana.**

O tamanho do lote, o total da sua área ocupada e a altura da construção em relação ao total da área construída são as dimensões mais visíveis da densidade urbana. (ACIOLY; DAVIDSON, 1998). É relevante reconhecer que estes parâmetros variam no espaço e no tempo e nas diversas sociedades que apresentam níveis diferenciados de desenvolvimento, aspectos culturais, institucionais e tecnológicos, mas podem ser controladas e reforçadas pelo planejamento urbano, através das leis de zoneamento e de parcelamento do solo urbano. (BARBOSA; CARVALHO, 2008)

Um dos principais objetivos das leis de zoneamento ao definir diretrizes de uso e ocupação do solo, é controlar a densidade e direção do crescimento urbano, considerando para tanto, as questões ambientais, econômicas e a disponibilidade de infraestrutura e serviços públicos, buscando responder às necessidades humanas de produzir, consumir, habitar ou viver.

As categorias de uso do solo são “especificações dos usos permitidos em combinação com as regras de ocupação do solo” (SILVA, 1997, p. 221). Aos padrões de uso do solo urbano associam-se as funções e, aos padrões de ocupação associam-se elementos do meio urbano tais como: sítio, traçado urbano, malha, largura e tamanho do lote, grau de consolidação das edificações, padrão construtivo etc.

Dentre as categorias de uso e ocupação do solo destacam-se:

- Usos: O uso do solo urbano, de acordo com Ferrari (1977), é definido a partir da predominante atividade de seus equipamentos, sejam eles residenciais, industriais, comerciais, institucionais (públicos ou privados), áreas de circulação, áreas

vagas (públicas ou privadas: próprias ou impróprias ao uso urbano). A permissão ou proibição de um uso para determinada zona baseia-se em critérios como periculosidade, potencial de poluição e impacto, potencial de poluição sonora, potencial de atração de tráfego intenso ou pesado, necessidade de requisitos específicos de localização (VILLA, 1991);

- Tamanho e dimensões mínimas do lote: varia principalmente conforme o tipo de uso ao qual a zona foi destinada ou conforme classe socioeconômica. A Lei Federal de Parcelamento do Solo Urbano (LEI 6766 de 1979) prevê lotes residenciais mínimos de 125 m<sup>2</sup> com frente mínima de 5 m. Quanto às dimensões da quadra não há uma lei federal que a regule, via de regra estas apresentam cerca de 100 m de comprimento por 50 m de largura. Algumas leis municipais estabelecem o comprimento máximo das quadras. Em Rio Claro-SP, por exemplo, o comprimento máximo tolerado atualmente é de 200 m.
- Taxa de Ocupação - TO: é a relação entre área total do terreno e área efetivamente ocupada pela edificação (VILLA, 1991);
- Coeficiente de Aproveitamento - CA: relação entre a soma da área construída e área do terreno. É um indicador da intensidade de construção de um terreno (VILLA, 1991);
- Recuos: definem relações de uma edificação com os imóveis vizinhos e com a rua (VILLA, 1991);

Conforme aponta Ferrari (1977), ao fixar índices urbanísticos para as diferentes zonas urbanas, fixam-se indiretamente as densidades brutas ou líquidas. Inúmeros estudiosos afirmam que quanto maior a densidade, maior a maximização e melhor a utilização da infraestrutura e solo urbano. A figura 2 ilustra as vantagens e desvantagens da alta e baixa densidade urbana e revela a dificuldade de estabelecer a densidade ótima.



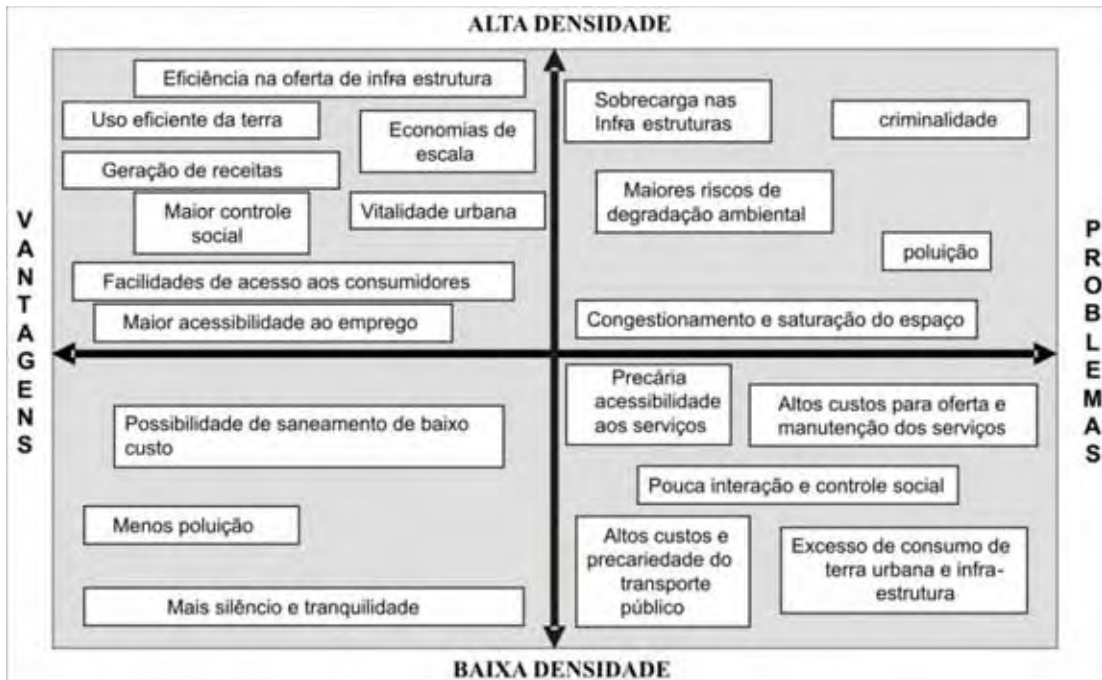


Figura 2: As vantagens e desvantagens da baixa e alta densidade. Fonte: ACIOLY; DAVIDSON, 1998

Conforme apresentado na Figura 2, a alta densidade tem como vantagens: o uso eficiente da terra, geração de receitas, economias de escala, maior controle social, eficiência na oferta de infra-estrutura, vitalidade urbana e maior acessibilidade ao emprego. Como desvantagens destacam-se: sobrecarga nas infra-estruturas, poluição, maiores riscos de degradação ambiental, congestionamento e saturação do espaço. Em contrapartida, a baixa densidade tem como vantagens: maior qualidade ambiental e silêncio, e como desvantagem: precária acessibilidade aos serviços, altos custos para oferta e manutenção de serviços, pouca interação e controle social, altos custos e precariedade do transporte público. Ressalva-se que a idéia de Acioly e Davidson (1998), observada na figura, de que a baixa densidade propicia baixo custo do saneamento deve ser reavaliada, uma vez que a rede de distribuição e coleta ocupando extensas áreas com baixas unidades habitacionais eleva o custo de implantação do sistema de saneamento. Ainda segundo o gráfico, observa-se que a densidade ótima está representada pelo ponto em que o eixo da densidade cruza com o eixo vantagem/desvantagem, e pode ser estabelecida mediante a avaliação de variáveis relacionadas ao custo (custo de implantação, custo de manutenção e eficiência dos serviços públicos como transporte, saneamento, saúde, segurança), de variáveis ambientais (qualidade de vida, congestionamento, tranquilidade, sobrecarga do solo urbano, poluição visual, atmosférica,

degradação ambiental) e de variáveis econômicas (geração de receita, economia de escala, mercado consumidor, oferta de mão de obra).

Ferrari (1977), citando Lewis Mumford, aponta que não pode haver planejamento correto sem que se compreenda a necessidade de estabelecer normas ou limites ideais para a densidade. Para o autor, a maior parte das cidades necessita de uma densidade menor com mais parques e espaços vazios, mas a maioria das periferias deve aumentar suas densidades para ter bem à mão os equipamentos sociais, educacionais, recreativos que necessitam. Tanto a dispersão como a congestão são inadequadas.

Para Acioly e Davidson (1998), intervenções e projetos habitacionais que pretendam seguir os princípios do desenvolvimento sustentável demandam uma atenção especial para o produto final do planejamento físico espacial, dentro do qual a densidade urbana ocupa uma posição de destaque. Esta deve resultar de um processo no qual são considerados, de forma dinâmica, padrões de infraestrutura, tamanhos dos lotes e da habitação, tipologia habitacional e morfologia urbana, aceitação cultural e adequabilidade ambiental. Quando se avalia a variável ambiental no contexto da densidade urbana não há consenso entre os planejadores quanto à densidade ideal, uma vez que embora as altas densidades representem maior sobrecarga sobre o meio natural as baixas densidades demandam alto consumo de energia e combustíveis.

Cunha (1964), afirma que a verticalização, desde que não se baseie em modelos de edifícios excessivamente altos, possibilita a criação de uma paisagem urbana coesa, possibilitando elevar a densidade residencial sem, contudo comprometer as boas condições de habitabilidade. Villa (1991) ressalta que a verticalização possibilita conciliar uma alta densidade de construção e população com uma menor ocupação do solo, uma vez que, à medida que aumenta o número de pavimentos deixa-se de ocupar o solo horizontalmente. Em outras palavras, com a mesma área construída e de terreno, haverá mais espaços descobertos num lote com um prédio de 10 andares do que num lote com um prédio de quatro. (VILLA,1991)

Villa (1991) corrobora com a ideia apresentada por Cunha (1964) de que a verticalização não deve se basear em número de pavimentos excessivamente alto. Conforme aponta o autor à medida que há aumento no número de pavimentos o ganho de áreas livres é progressivamente menor. Por exemplo, em um terreno de 1.000 m<sup>2</sup> com coeficiente de aproveitamento igual a 1, a área máxima construída será de 1.000 m<sup>2</sup>. Caso tal terreno for ocupado por residência com dois pavimentos, cada um poderá ter 500 m<sup>2</sup>, portanto a área descoberta corresponderá a 500m<sup>2</sup>, caso a área construída for dividida em 4 pavimentos, cada

um deles terá 250m<sup>2</sup>, e a área liberada será de 750 m<sup>2</sup> (250 a mais do que o modelo com 2 pavimentos) e passando-se de 9 para 10 andares libera-se apenas mais 25m<sup>2</sup> de área livre.

Barbosa e Carvalho (2008), acreditam que a verticalização para ser concebida a favor da sustentabilidade urbana deve ter como pressuposto o fato de que o solo que deixa de ser ocupado horizontalmente pelas edificações verticais deve ser incorporado, em parte, no projeto prestando-se a compensação ambiental através de áreas verdes permeáveis, mediante fixação de taxas de ocupação/impermeabilização. No entanto, na prática, a verticalização é caracterizada pela ausência de referenciais de padrões urbanos, o que dificulta a eficácia das leis de zoneamento, consolidando modelos de urbanização com densidades inadequadas no contexto ambiental. Geralmente, há super dimensionamento das Taxas de Ocupação e dos Coeficientes de Aproveitamento, reproduzindo nas cidades brasileiras um cenário de alta densidade populacional e de edificações e sobrecarga de infraestrutura, com edificações caracterizadas por recuos e áreas livres pouco expressivos e excessiva impermeabilização do solo.

A tabela 1 compara as diretrizes de ocupação previstas pelo Plano Diretor Municipal de Rio Claro-SP (que vigorou no período de 1992 a 2007) para determinada zona urbana (modelo 1 e modelo 2) com os padrões adotados por um empreendimento imobiliário representativo das tendências atuais do mercado de imóveis (modelo3). O empreendimento ocupa uma área de 5.190 m<sup>2</sup>. A tabela demonstra taxas de ocupação e os coeficientes de aproveitamento demasiadamente altos adotados pelo Plano Diretor, enquanto o modelo apresentado pelo mercado imobiliário apresenta padrões, que embora reflitam uma elevada densidade populacional, são mais racionais do ponto de vista da densidade de edificações.

Tabela 1: Quadro comparativo de padrões urbanos propostos pelo antigo Plano Diretor de Rio Claro-SP (modelo 1 e 2) e modelo alternativo (modelo 3).

Padrões urbanos	<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>	<b>Modelo 3</b>
	Ocupação Horizontal prevista pela Lei de Zoneamento	Ocupação Vertical prevista pela Lei de Zoneamento	Ocupação vertical apresentada pelo mercado imobiliário
Coefficiente de Aproveitamento	0,7	4	2,18
Taxa de Ocupação	70%	70% térreo, 90% subsolo 50% área de projeção das torres.	19,6%
Lote padrão ou (Sub)lote/fração ideal	125 m <sup>2</sup>	21,8 m <sup>2</sup>	36,23 m <sup>2</sup>
Área Edificada	3.652m <sup>2</sup>	21.913,7 m <sup>2</sup>	11.384,58 m <sup>2</sup>
Área de projeção das edificações	3.652m <sup>2</sup> (87,5 m <sup>2</sup> por residência)	3.652m <sup>2</sup> sendo 2609m <sup>2</sup> pelas torres e 1043 pelos demais equipamentos do condomínio	1.022,73 sendo 963,36 das 3 torres e 59,37 da guarita, vestiário, churrasqueira, lixeira e central de gás.
Número de residências	41,7	238,5	144
Número médio de habitantes residindo na a área.	151,7	882,4	532,8
Densidade da quadra líquida <sup>2</sup>	290,7 habitantes/ha	1.691,1 habitantes/ha	1.021 habitantes/ha
Densidade Líquida residencial <sup>3</sup>	154,5 habitantes/ha	845,5 habitantes/ha	510,5 habitantes/ha
Densidade bruta urbana <sup>4</sup>	72,7 habitantes/ha	422,7 habitantes/ha	255,2 habitantes/ha
Área livre de edificações.	1.565,3 m <sup>2</sup> (distribuídos pelas propriedades).	521,7m <sup>2</sup>	4.194,94 m <sup>2</sup>

Fonte: adaptado de BARBOSA; CARVALHO, 2008

O modelo 3, tem como peculiaridade o fato de conceber a verticalização como uma maneira de ganhar áreas livres nos lotes. Desta forma, a verticalização revela potencialidade de usos criativos conciliando densidades populacionais altas e baixa densidade de uso do solo. Neste contexto, do ponto de vista ambiental, é possível reduzir as áreas impermeáveis urbanas contribuindo para a manutenção da infiltração e implantação de áreas verdes urbanas, ao mesmo tempo em que efetiva-se um cidade mais concisa, minizando os gastos de energia e otimizando o uso das infraestruturas urbanas.

<sup>2</sup> Relação ente a população e a área líquida da quadra (FERRARI, 1977);

<sup>3</sup> Relação entre a população e área ocupada pelos lotes residenciais e a área das vias de acesso (FERRARI, 1977);

<sup>4</sup> Relação entre população residente e área bruta na qual ela reside. Por área bruta entende-se a área total ocupada pelos lotes residenciais, pelas vias, áreas verdes, institucionais, comerciais, entre outras (FERRARI, 1977).

Pompêo (2000), aponta que o excessivo parcelamento do solo com a alta impermeabilização em áreas urbanas é um dos fatores que contribuem para as enchentes. Diretamente relacionada aos índices urbanos e a densidade de ocupação dos lotes, a manutenção de áreas livres, é extremamente relevante para países de clima tropical como o Brasil, uma vez que aliviam a carga de escoamento nas sarjetas e galerias pluviais e, portanto demandam menores custos de implantação deste sistema.

Cientes deste fato, os planejadores têm incluído nas leis de zoneamento brasileiras mais recentes restrições à impermeabilização e incentivos a manutenção de áreas verdes nos lotes. Em Rio Claro-SP, por exemplo, o atual Plano Diretor (LEI 3806/2007) prevê para lotes de uso residencial uma TO mínima de 70% e Taxa de Permeabilidade - TP mínima igual a 10%. Para indústrias, serviços e comércios de médio a grande porte este índice chega a 30%. O Projeto de Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo (PL 146/08), baseado nestas taxas mínimas, define com maior especificidade para cada zona do município as exigências quanto a TO e TP. O percentual do lote permeável (TP) varia de 10% a 40% conforme características ambientais peculiares a cada zona, de forma que para áreas de maior fragilidade ambiental ou proximidade dos mananciais foram previstos maiores lotes mínimos e maiores TPs.

O Plano Diretor de São Carlos – SP (LEI 13.691/2005) em seu artigo 103 apresenta a preocupação com a implantação do sistema de drenagem, introduzindo a obrigatoriedade da implantação de dispositivos de drenagem urbana sustentável que permitam manter dentro das condições originais a vazão do escoamento da área antes de ser urbanizada. A referida lei introduz também Coeficientes de Permeabilidade – percentual mínimo de área permeável por lote urbano - variando de 15% a 50%. Para áreas com relevante influência na manutenção de mananciais, exige o “Coeficiente de Cobertura Vegetal” que é o percentual de área coberta por vegetação arbórea ou arbustiva de um determinado imóvel.

Desta forma, entende-se que os padrões de uso e ocupação dos solos urbanos podem ser eficazmente regulados, pelo poder municipal ao incorporar a questão drenagem urbana sustentável. Esta concepção enfatiza o viés ambiental do princípio constitucional da função social da propriedade, ao restringir o direito à propriedade a favor da qualidade ambiental urbana.

Ganha relevância no processo de planejamento o reconhecimento das condições naturais do sítio, mediante a análise geomorfológica, para que se proponha padrões de ocupação urbana compatíveis com as condições naturais.

### 3 RELEVO E SOLO NA PREVENÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL URBANO

---

#### 3.1 Impacto Ambiental

O impacto ambiental, do ponto de vista do equilíbrio dos sistemas naturais, pode ser descrito como um acréscimo de tensão (ímpeto de mudar) que traz consigo alterações no conjunto do sistema. (DREW, 2005)

Na escala humana de tempo, os sistemas naturais parecem estáticos, porém na realidade, os sistemas oscilam em torno de uma situação média – estado conhecido como equilíbrio dinâmico. Entretanto, caso seja aplicado ao sistema um esforço externo suficiente (ímpeto de mudar) todo ele pode estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, em nível diferente de operação. (DREW, 2005)

Cada questão de um sistema natural apresenta um limiar para além do qual a mudança imposta se torna irreversível e é necessário estabelecer um novo equilíbrio. Para além do limiar o regresso ao sistema anterior será possível se o esforço for eliminado. O limiar varia de acordo com cada sistema, mas sempre é possível que o distúrbio exceda a capacidade de recuperação. (DREW, 2005 p. 27)

A Figura 3 demonstra a reação de um sistema ambiental perante um esforço gerador de impacto.

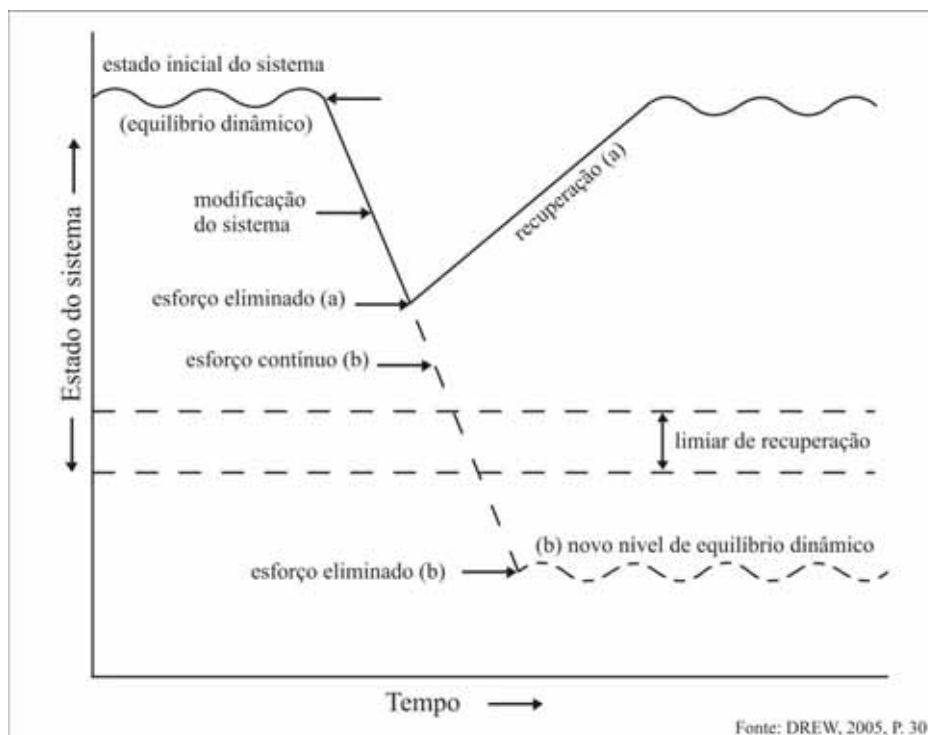


Figura 3: Reação de um sistema ambiental perante imposição de um esforço ou tensão. Fonte: DREW, 2005

De acordo com a figura, após a modificação do sistema e alteração do seu equilíbrio inicial há duas possibilidades: a) situação em que com a cessação do esforço antes do nível do limiar possibilita sua recuperação e restauração – volta ao equilíbrio dinâmico inicial; b) situação em que há continuação do esforço, até que o sistema ultrapasse o nível limiar e não haja mais condições para que o sistema volte ao estado original. Quando há a eliminação do esforço, a estabilização ocorre em um novo nível de equilíbrio. (DREW, 2005)

Por outra perspectiva, considerando a organização da sociedade como fator determinante da forma de ação do homem sobre a natureza, o impacto ambiental pode ser entendido como:

[...] o processo de mudanças sociais e ecológicas causado por perturbações [...] no ambiente. Diz respeito à evolução das relações entre as forças externas e internas à unidade espacial e ecológica, histórica ou socialmente determinada. É a relação entre sociedade e natureza que se transforma diferencial e dinamicamente. Os impactos ambientais são escritos no tempo e incidem diferencialmente, alterando as estruturas das classes sociais e reestruturando o espaço. (COELHO, 2001 p. 24-25)

O impacto ambiental, neste contexto, é um desequilíbrio no sistema biofísico que ao mesmo tempo em que é desencadeado pela organização da sociedade, orienta sua organização espacial. Em outras palavras, ao mesmo tempo em que o homem desencadeia o impacto devido às formas de apropriação da natureza condicionada à organização social, ele sofre as consequências deste impacto, diferencialmente de acordo com sua posição na estrutura socioeconômica.

A urbanização de uma área inevitavelmente impõe ao sistema natural uma mudança, um esforço intenso que pode exceder a capacidade de recuperação do sistema natural. Neste contexto, o planejamento ambiental urbano tem por objetivo minimizar os esforços aplicados sobre os sistemas naturais, afim de que um novo equilíbrio seja estabelecido; para tanto é necessário reconhecer as características do sistema natural, mas também devem ser considerados os fatores sociais que determinam a relação sociedade/sistema natural.

Os problemas ambientais urbanos demonstram que o espaço urbano é representativo de um estágio histórico dos movimentos de mudanças sociais e ecológicas. Na cidade, os impactos ambientais atingem muito mais os espaços das classes menos favorecidas do que os das classes mais elevadas. Este fato se justifica porque a população de menor poder aquisitivo ocupa áreas em que os sistemas ambientais são mais susceptíveis ao esforço sofrido e com pouco valor no mercado imobiliário: vertentes íngremes, margens de cursos d'água, proximidades a indústrias, áreas insalubres etc. A distribuição espacial das classes menos favorecidas está associada à desvalorização do espaço pelos condicionantes físicos e ambientais (COELHO, 2001). Concomitantemente, o desenvolvimento do caráter da propriedade privada e a conversão do espaço em mercadoria, tendo como consequência o acúmulo de capital, responde pelos elevados níveis de degradação ambiental e pelo antagonismo de classe. (CASSETI, 1991)

### **3.2 A vertente como Unidade Espacial de Análise Geográfica**

Dentro da análise geomorfológica ganha relevância a vertente, como elemento dominante do relevo onde se materializam as relações das forças produtivas, onde ficam registradas as transformações que compõem a paisagem. Enquanto substrato da ocupação, a vertente passa a incorporar o homem enquanto ser social e sua ação sobre esta através do processo de apropriação e transformação “implica o estado de agravamento da referida



evolução (a evolução torna-se sensível na escala de tempo histórica), por oferecer condições à intensificação dos processos exógenos” (CASSETTI 1991 p. 64).

O conceito de vertente encontra-se atualmente no centro das preocupações geomorfológicas e segundo Jean Dylík (1968 apud CHRISTOFOLETTI, 1980) pode ser definida como uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente e no passado, e representando a conexão dinâmica entre o topo e o fundo de vale.

Cassetti (1980), apresenta dois componentes expostos por Jahn (1954) referentes às forças morfogenéticas atuantes na vertente. O primeiro refere-se ao componente perpendicular, caracterizado pela infiltração que tem estreita relação com o processo pedogenético, enquanto o segundo, denominado componente paralelo, é expresso pelo processo denudacional, ou seja, a ação erosiva realizada pelo escoamento superficial sobre o solo previamente desenvolvido. O autor ainda apresenta o modelo de Horton (1933), considerando-o como o primeiro modelo clássico de hidrologia da vertente, sendo que a superfície pode oferecer dois componentes básicos, correspondentes à água infiltrada, que acontecerá enquanto a capacidade de infiltração permitir e a água de escoamento, que inicia com a saturação do limite de capacidade de infiltração, que pode ser determinada pela intensidade da chuva, condição de armazenamento hídrico do solo, disposição topográfica e mesmo cobertura vegetal.

Gerrard (1995), afirma que um dos mais simples caminhos para compreender a vertente é assumi-la como um corpo tridimensional. A Figura 4 demonstra a direção e a intensidade relativa do movimento de detritos, componentes do solo e água e as características pedogenéticas para uma vertente hipotética, segmentando-a em nove seções diferentes. O modelo proposto por Darlymple, Blong e Conacher (1968, apud CHRISTOFOLETTI, 1980) permite uma integração entre pedologia e geomorfologia. No entanto, como salienta Gerrard (1995), por se tratar de uma simplificação da realidade, ele não pode ser aplicado a toda paisagem.

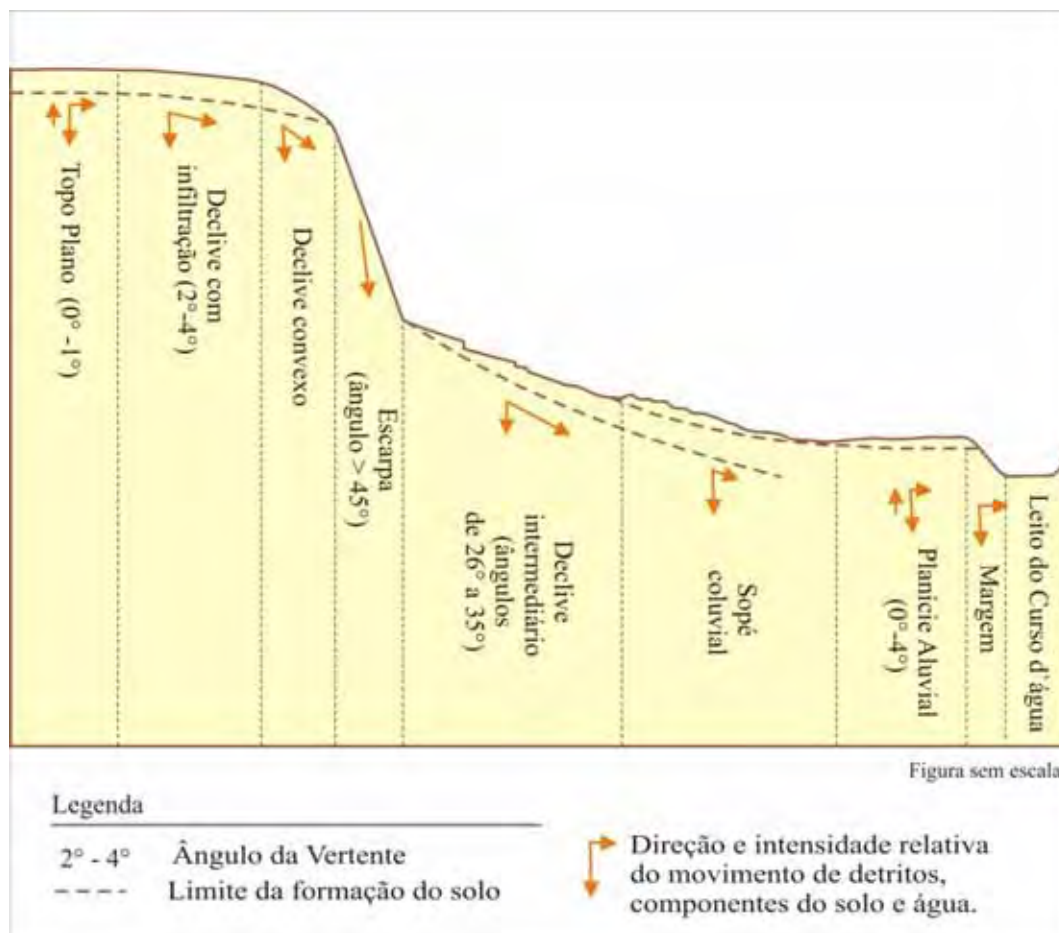


Figura 4: Modelo hipotético de vertentes. Fonte: Adaptado de Christofolletti, 1980

Christofolletti (1980), elenca as seguintes características das seções apresentadas na Figura 4: a) Seção Plana - predominam os processos pedogenéticos associados ao movimento vertical da água superficial; b) declive com infiltração - predominam a eluviação (lixiviação) mecânica e química pelo movimento lateral da água subsuperficial; c) declive convexo - predominam a reptação (rastejamento) e a formação de terracetes; d) escarpa - predominam deslizamentos, desmoronamentos, intemperismos químico e mecânico; e) declive intermediário: predomina transporte de material pelos movimentos coletivos do solo, formação de terracetes, ação da água superficial e subsuperficial; f) sopé coluvial - reposição de material pelos movimentos coletivos do solo e escoamento superficial; formação de cones de dejeção; transporte de material e receptação, ação subsuperficial da água; g) declive aluvial - deposição aluvial, processos oriundos do movimento subsuperficial da água; h) margem do curso d'água - corrosão, deslizamento, desmoronamento; i) leito do curso d'água - transporte de material para jusante pela ação da água superficial; gradação periódica e corrosão.

Num sentido geral, a vertente seria um todo dinamicamente ligado aos processos pluviais, e num sentido específico, seria caracterizada por processos denudacionais. A vertente *latu sensu*, incorpora o curso d'água, nível de base responsável pelo grau de participação dos efeitos areolares da vertente *stricto sensu*. Enquanto a vertente *stricto sensu* encontra-se limitada pelas relações morfodinâmicas areolares (CASSETTI, 1991). Entendida como sistema aberto, a vertente tem como fontes primárias de matéria: a precipitação, a rocha subjacente e a vegetação; e como fontes de energia: a gravidade e a radiação solar. Os vários processos que se verificam na vertente fazem com que haja transferência de fluxo de matéria e energia para o sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O ajustamento do sistema vertente às alterações na dinâmica pluvial pode desencadear fenômenos que caracterizam instabilidade de encostas (rastejamento, deslizamento, desmoronamento, solifluxão, ravinamento, voçorocamento), alteram o leito do canal, a capacidade de abrasão e acumulação e a torrencialidade de vazão. (OLIVEIRA, 1997)

As noções de “equilíbrio e desequilíbrio” observadas no decorrer do processo evolutivo das vertentes intensificam-se quando submetidas à intervenção antrópica, especialmente em decorrência das alterações do comportamento hidrodinâmico das mesmas (OLIVEIRA, 1997). Quando o homem passa a integrar o sistema vertente altera seus fluxos de matéria e energia. A ocupação urbana, neste contexto, corresponde a uma significativa alteração no comportamento hidrodinâmico da vertente, culminando em um desequilíbrio do sistema, uma vez que o componente paralelo do processo denudacional, expresso pelo aumento do escoamento superficial e conseqüente aceleração dos processos erosivos se sobressai ao componente perpendicular (infiltração).

### **3.3 Comportamento da Água na Vertente**

As características intrínsecas do solo e a ação do relevo se reflete sobre a dinâmica da água, quer no sentido vertical (infiltração), quer no lateral (run-off ou escoamento superficial) (OLIVEIRA, 1972).

Durante um evento chuvoso, parte da chuva cai diretamente sobre o solo, outra parte é interceptada pela cobertura vegetal, podendo retornar a atmosfera pela evaporação ou chegar ao solo através do gotejamento das folhas e pelo fluxo de tronco. A água que chega ao solo causa inicialmente o *splash* (erosão por salpicamento), depois se infiltra, aumentando o teor

de umidade do solo; quando o solo encontra-se saturado inicia-se a formação de poças. Este é o estágio que antecede o escoamento superficial e é determinado pela existência de irregularidades no topo do solo que podem ter de 1 a 2 mm de profundidade. Quando as poças ocupam estas irregularidades, começam a se ligar umas com as outras. Neste momento inicia-se o escoamento superficial, que a princípio é difuso, podendo tornar-se concentrado à medida que o processo tem continuidade espacial e temporal. (GUERRA,1999)

A taxa de infiltração, que é o índice que mede a velocidade com que a água da chuva se infiltra no solo, possui papel importante na formação de poças e conseqüentemente na produção de escoamento superficial. A infiltração pode ser influenciada pelas propriedades do solo, características das chuvas ou quantidade de água aplicada, tipos de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas, microtopografia da superfície do terreno, condutividade total da umidade nos horizontes inferiores e quantidade d'água que o perfil reterá na sua capacidade de campo. (BUCKMAN; BRADY, 1968; GUERRA, 1999)

Durante uma chuva, os espaços entre as partículas do solo preenchem-se de água e as forças de capilaridade decrescem, de tal forma que as taxas de infiltração decaem, tornando o solo saturado, não conseguindo absorver mais água. Outro fator que contribui para o decréscimo de absorção de água na superfície é a formação de crosta, decorrente do impacto das gotas da chuva e rompimento dos agregados, selando a superfície do solo. (MORGAN, 1986 apud GUERRA,1999)

Considerando que a viagem da água sobre a superfície é mais rápida, tornando-se cada vez mais lenta em profundidade, pode-se dizer que os solos determinam o volume do escoamento da chuva, a sua distribuição temporal e as descargas máximas, tanto em superfície como em subsuperfície. (COELHO NETTO, 1995).

A textura e a estrutura dos diversos horizontes de solo têm grande influência na determinação do escoamento superficial. Solos arenosos possuem capacidade de infiltração e condutividade total elevada – a percolação da água se processa com facilidade e rapidez por ser reduzida a capacidade de retenção de umidade. Em solos estratificados, ou seja, solos que apresentam camadas que diferem em composição física (estrutura e textura) o movimento descendente da água fica prejudicado. (BUCKMAN; BRADY, 1968)

Moniz (1972) afirma que a agregação do solo (união de partículas formando pequenos torrões) é uma propriedade importante, sobretudo por estar relacionada à porosidade. Quanto maior o volume de poros grandes do solo, maior a infiltração de água das chuvas e menor o escoamento superficial.

Palmieri e Larach (2000) descrevem os aspectos do relevo local na determinação das características hídricas do solo da seguinte forma:

[...] Nas partes altas e relativamente planas, os solos apresentam boa drenagem interna, nas encostas com declives mais acentuados apresentam drenagem boa ou excessiva, porém são mais secos, enquanto que nas partes inferiores das vertentes e nas áreas de várzeas e/ou depressões há predominância de água na massa do solo durante o ano. Esta predominância de água resulta em solos imperfeitamente drenados ou mal drenados, dependendo se o lençol freático está próximo à superfície ou não, respectivamente. (PALMIERI; LARACH, 2000 p. 76)

Tais características contribuem para o processo de formação do solo, uma vez que é a água infiltrada que intemperiza a rocha matriz. Neste sentido, Oliveira (1972) afirma que em relevos planos a quase totalidade da água de precipitação se infiltra no solo, havendo pouca perda por escoamentos laterais, propiciando condições ótimas para desenvolvimento de solos zonais; em relevos muito movimentados, grande parte da precipitação é perdida em escoamentos laterais, favorecendo os processos erosivos e dificultando o desenvolvimento de perfis profundos, o que condiciona a formação de solos rasos; finalmente o relevo deprimido recebe, além das águas fornecidas pela precipitação direta, aquela das vertentes vizinhas, que ocasionam frequentemente o aparecimento de solos hidromórficos.

O relevo é também fator determinante do comportamento do escoamento superficial, uma vez que características como declividade e extensão da vertente constituem fatores que podem determinar a transição do fluxo em lençol ou laminar para um fluxo linear (GUERRA, 1999). As características do escoamento superficial, por sua vez influenciam os processos erosivos. A força de cisalhamento imposta pelo início do fluxo laminar não é suficiente para transportar partículas, mas à medida que esse fluxo de água desce a encosta, aumenta o cisalhamento das partículas do solo, e a erosão começa a ocorrer a certa distância do topo. (GUERRA, 1999).

A remoção de camadas do solo pelas águas pluviais que escoam na superfície das vertentes pode ser expressa através dos seguintes processos:

- Erosão por salpicamento: é o estágio mais inicial do processo erosivo, relaciona-se a energia cinética da chuva e a resistência do solo. O splash prepara as partículas do solo para serem transportadas pelo escoamento superficial. Esta preparação ocorre tanto pela ruptura dos agregados como pela ação transportadora do salpicamento nas partículas dos solos. A ação erosiva pela gota da água é proporcional ao grau de

coesão das partículas de solo, conferido pela presença de um agente que agregue (argilas e/ou matéria orgânica);

- Erosão laminar: desencadeada pelo escoamento difuso, ou em lençol, se caracteriza por remover uma camada fina e relativamente uniforme do solo (CAMARGO et al., 2004). Inicialmente, a força imposta por este fluxo não é suficiente para transportar partículas, mas, à medida que esse fluxo de água aumenta e acelera, encosta abaixo, ocorre o cisalhamento das partículas do solo e a partir de uma determinada distância do topo a erosão começa a ocorrer. (HORTON apud GUERRA, 1999)
- Erosão linear: ocorre na medida em que a água se concentra em determinados pontos devido às depressões do terreno, constituindo-se em pequenos sulcos, ravinas e podendo chegar a um estágio mais avançado que são as chamadas voçorocas. A remoção e o transporte de partículas são feitos pela enxurrada concentrada e em alta velocidade, condicionada pelo relevo, deságues de estradas ou terraços. A remoção das partículas é pouco seletiva e a área afetada corresponde a uma pequena parte da superfície. A quantidade e o tamanho dos sedimentos transportados é determinada pela velocidade do escoamento superficial da água e sua turbulência, os que, por sua vez, são influenciados pela rugosidade superficial, comprimento de rampa, declividade e cobertura do solo. (Silva, et al. 2004). Características naturais contribuem para que a erosão atinja este estágio avançado, mas a ação do homem pode dinamizar o processo. Fatores como o relevo acidentado, chuvas concentradas em poucos meses do ano e características do solo como textura, consistência friável, baixo teor de matéria orgânica e pequena estabilidade de agregados, tendem a aumentar a susceptibilidade do solo à erosão (VIEIRA, 1988).

Como mostram Bertoni e Lombardi Neto (1993), pode-se dividir em duas as forças que, simultaneamente, atuam na erosão hídrica do solo: forças ativas e passivas. Como ativas, incluem-se as forças exercidas pelas características das chuvas, que agem sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia variáveis (dependendo de seu diâmetro), e pelo escoamento superficial, determinado pela declividade, pela extensão da vertente, além da própria capacidade que tem o solo em absorver água. E por forças passivas, incluem-se a resistência exercida pelo solo perante a ação erosiva da água, determinada por suas características físico-químicas e pela densidade e propriedades da cobertura vegetal.

A respeito das características do solo, aqueles que quando úmidos se desfazem com facilidade, são facilmente desagregados e transportados pelas chuvas, e isso está relacionado com maiores teores de silte e areia fina (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Solos de textura

mais grosseira, como areia grossa e cascalho, podem ser também susceptíveis por não apresentarem agregação entre suas partículas (MONIZ, 1972). Como mencionado acima, a desagregação do solo pode ser acentuada também pela ação do homem, quando este retira a cobertura vegetal original do solo e realiza práticas que não condizem com as características físicas locais.

A matéria orgânica influencia bastante a agregação, conferindo maior estabilidade aos agregados através da cimentação das partículas, e com isso, proporciona maior resistência à ação das gotas das chuvas e do escoamento superficial, resultando em menor desestruturação e carreamento de solo. (MONIZ, 1972)

A chuva representa o principal fator climático na erosão dos solos nas regiões tropicais úmidas. A erosão pode ser maior ou menor em função da sua duração, intensidade, distribuição e tamanho de gotas (WISCHMEIER; SMITH, 1958). Em contrapartida, a cobertura vegetal assume importante papel na proteção natural de um terreno contra a erosão e exerce diferentes resistências de acordo com as diferentes coberturas do solo, sejam naturais ou introduzidas pelo homem.

### **3.4 Impactos Decorrentes de Impermeabilização do Solo em Áreas urbanas**

Dentre os impactos mais expressivos da urbanização estão os que se relacionam à alteração do ciclo hidrológico natural. A retirada da vegetação acompanhada da impermeabilização repercute na capacidade de infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial, a concentração de enxurradas e a ocorrência de ondas de cheias. O aumento da velocidade e volume de água que é carregada para os cursos d'águas, aumenta também o potencial erosivo. Há redução do abastecimento do lençol freático acarretando desperenização de cursos d'água. Além disso, ocorre aumento da produção de material sólido e deterioração das águas superficiais devido aos materiais carregados pelas águas das chuvas (TUCCI, 1997).

A tabela 2 demonstra as alterações da urbanização no ambiente hidrológico:

Tabela 2 - Impactos da urbanização convencional no ciclo hidrológico

Estágio de desenvolvimento	Evapotranspiração	Escoamento superficial	Infiltração superficial	Infiltração em profundidade
Não urbanizado	40%	10%	25%	25%
Urbanização baixa	38%	20%	21%	21%
Urbanização moderada	35%	30%	20%	15%
Urbanização densa	30%	55%	10%	5%

(Fonte: adaptado de MARYLAND, 1999)

O aumento da produção de escoamento é uma das alterações mais significativas do processo de urbanização. O escoamento superficial ou deflúvio, segundo Jorge e Uehara (1998 p. 101) corresponde à “parcela da água precipitada que permanece na superfície do terreno, sujeita a ação da gravidade que a conduz para cotas mais baixas”.

Tucci (1995), afirma que o desenvolvimento urbano e a impermeabilização do solo por telhados, calçadas, ruas, entre outros faz com que a parcela da água que infiltrava passe a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial concentrado. A concentração de drenagem característica de áreas urbanas submete os leitos naturais a vazões maiores que aquelas originais sob as quais tinham adquirido seus perfis de equilíbrio. Como consequência “ampliam-se caudais de pico e encurtam-se tempos de concentração, aumentando a erosão, o assoreamento e a frequência de alagamentos e inundações locais por período chuvoso normal” (CARVALHO; PRANDINI, 1998 p. 489).

O hidrograma (Figura 5) demonstra o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial decorrentes da urbanização:

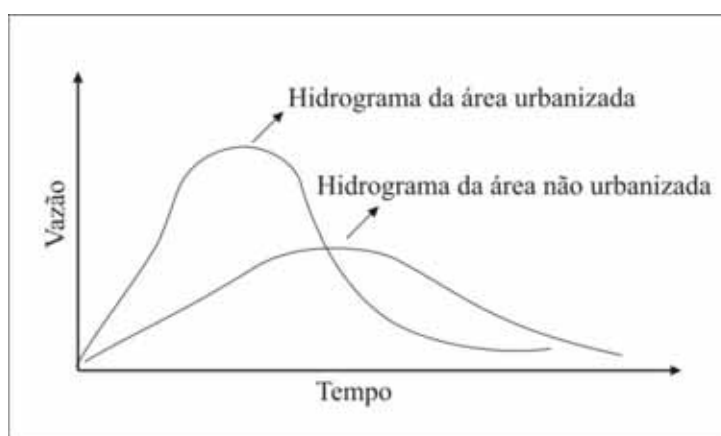


Figura 5: Hidrograma Hipotético. Fonte: TUCCI, 1995 p.18



Em bacias hidrográficas que apresentam como características naturais rochas ou solos pouco permeáveis, a alteração pela urbanização não será tão expressiva. No entanto, em condições naturais que propiciem alto percentual de infiltração, as alterações serão de grande magnitude.

Além do aumento das enchentes urbanas, o aumento do volume que passa a escoar em superfície tem como consequência o desencadeamento de processos erosivos. Iwasa e Fendrich (1998), afirmam que a erosão linear, resultado da concentração do fluxo das águas pluviais, é um problema típico das áreas urbanas, caracterizando-se por incisões nas superfícies que podem evoluir, por aprofundamento, para ravinas. Quando as ravinas atingem o lençol freático – estágio mais avançado da erosão linear - denominam-se voçorocas. Este tipo de erosão atinge principalmente as áreas periurbanas e urbanas, destruindo equipamentos urbanos e obras civis, colocando a população em risco. (TUCCI, 1995).

Diante dos problemas decorrentes dos modelos tradicionais de urbanização e transferência das águas pluviais, enfatiza-se a necessidade de que a cidade e os sistemas de drenagem urbana sejam repensados sob a perspectiva da sustentabilidade.

### **3.5 Drenagem Urbana Sustentável**

Parkinson et al. (2003) afirma que sob a ótica da sustentabilidade, o modelo de drenagem urbana tem como princípios:

- a) Novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão de pico das condições naturais (ou prévias);
- b) O planejamento da bacia deve incluir controle de volume;
- c) Deve-se evitar a transferência dos impactos para jusante.

Para tanto as estratégias de drenagem urbana sustentável incluem medidas que consistem em componentes físicos ou de engenharia como parte integrante da infraestrutura, e medidas que incluem toda forma de atividades que envolvem práticas de gerenciamento e mudança de comportamento (PARKINSON et al., 2003).

Dentre as medidas que integram a infraestrutura destacam-se as de controle que são utilizadas como técnicas alternativas de drenagem pluvial para reduzir ou controlar parte dos excedentes pluviais gerados pela impermeabilização, a poluição de origem pluvial e aumentar

a recarga dos aquíferos. A adoção, apenas destas medidas, segundo Tucci (2005) pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação, por exemplo, de área inundáveis.

As ações que envolvem gerenciamento e mudança de comportamento caracterizam-se por medidas preventivas de controle do problema na fonte de maneira a evitar a necessidade futura da ampliação de componentes físicos de engenharia. Utilizam-se principalmente de medidas institucionais. Dentre estas se destacam: controle do uso do solo urbano; seguro inundação; serviço de alerta, supervisão e controle de cheias; programas de manutenção e inspeção do sistema de drenagem; implantação da divisão de drenagem; implantação da taxa de área permeável dos lotes; legislações relacionadas à cobrança de taxa de drenagem; regulamentação para áreas em construção; cadastro técnico multifinalitário; mapeamento (do solo, declividade, rede de drenagem natural e artificial); áreas verdes; controle da coleta e disposição final do lixo; educação ambiental; etc.

Parkinson et al. (2003), apontam que o controle na fonte não precisa necessariamente prever mecanismos de infiltração. Mesmo que o fluxo não seja retido, a não impermeabilização já evita a aceleração do escoamento superficial e conseqüentemente, evita uma vazão de pico mais elevada. Os autores sugerem para os casos em que o controle na fonte não seja suficiente, os loteamentos devem prever uma área para amortecimento da inundação em torno de 2% do m<sup>2</sup> urbanizado, podendo utilizar para isso parte do espaço público do empreendimento. Reforçam ainda que o incentivo ao solo permeável e o aproveitamento de espaços públicos para amortecimento de cheias auxiliam o controle das inundações e diminuem os custos de implantação e manutenção do sistema de drenagem.

Desta forma, enfatiza-se o controle da drenagem na fonte através de diretrizes do uso do solo que propiciem manutenção de áreas permeáveis no lote e alocação de áreas verdes públicas para o controle da produção de escoamento e segurança de áreas ribeirinhas. Para tanto, considera-se necessário o reconhecimento das características naturais de infiltração e escoamento da área a ser urbanizada. Os índices urbanísticos devem ser definidos com o propósito de evitar a excessiva impermeabilização do solo, propiciando espaços verdes permeáveis nos próprios lotes de forma a contribuir para a manutenção da vazão natural. Nos casos em que a infiltração natural não é significativa ou mesmo a impermeabilização urbana é inevitável incentiva-se a adoção de medidas compensatórias. Dentre as medidas compensatórias destacam-se faixa gramada; planos e valos de infiltração; trincheiras drenantes ou de infiltração; bacias de percolação; poços de infiltração; telhados

armazenadores; reservatórios individuais ou em lotes; pavimentos permeáveis, etc. A efetividade de alguns destes equipamentos pode ser observada na tabela 2:

Tabela 3 – Efetividade hidrológica dos equipamentos de drenagem urbana de baixo impacto

Função Hidrológica	Bioretenção	Poço de infiltração	Zona vegetada	Valas gramadas	Tanque de retenção	Cisterna	Trincheira de infiltração
Interceptação	E	A	E	M	A	A	A
Armazenamento em depressão	E	A	E	E	A	A	M
Infiltração	E	E	M	M	A	A	E
Recarga de água subterrânea	E	E	M	M	A	A	E
Volume de Escoamento superficial	E	E	M	M	B	M	E
Pico de descarga	M	B	B	M	M	M	M
Frequência do Escoamento Superficial	E	M	M	M	M	M	M
Qualidade da água	E	E	E	B	B	B	E
Fluxo de base	E	E	E	M	M	A	B
Qualidade do curso d' água	E	E	E	M	A	B	E

E = Elevado M = Moderado B = Baixo A = Ausente

Fonte: adaptado de MARYLAND, 1999:p. 4-6

Observa-se na figura acima, que todos os equipamentos apresentados contribuem para que o pico de descarga seja retardado e reduzido. Alguns equipamentos favorecem a infiltração, como o poço de infiltração, a trincheira e equipamentos de bioretenção, enquanto os equipamentos como o tanque de retenção e cisterna não propiciam infiltração e consequentemente não contribuem para a manutenção do abastecimento do lençol freático.

Cabe ressaltar que a eficiência de tais equipamentos está condicionada as características locais (climáticas, pedológicas, hidrológicas e geomorfológicas).

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

---

### 4.1 Contextualização da Área de Estudo: o Município de Rio Claro- SP

A vertente definida como área de estudo localiza-se no município de Rio Claro – SP, e embora não se encontre urbanizada, insere-se dentro do perímetro urbano do município.

Rio Claro situa-se na porção leste do Estado de São Paulo e dista 173 quilômetros da capital. É uma das cidades médias paulistas que, a partir da década de 1970, apresentaram um intenso aumento populacional marcado pela ausência de um planejamento eficiente, ocasionando degradação e modificação de toda a rede de drenagem. A população do município atualmente é de aproximadamente 185 mil habitantes (segundo a contagem do IBGE, em 2007), sendo que desses, 97% residem na área urbana. O município insere-se na bacia do rio Corumbataí que drena uma área de 170 quilômetros quadrados. Tal bacia é tributária do rio Piracicaba e tem o município de Rio Claro como o mais expressivo em densidade populacional e intensidade de ocupação do solo.

De acordo com Cottas (1983), o substrato geológico no município é constituído pelos sedimentos da Formação Corumbataí e por diques de sills de diabásio. A cobertura superficial é constituída pelos depósitos arenosos da Formação Rio Claro, por sedimentos quaternários e por depósitos coluvionários de vertentes.

Do ponto de vista geomorfológico, a área urbana de Rio Claro situa-se sobre a superfície plana da porção terminal sul do interflúvio Corumbataí-ribeirão Claro. O desnível é da ordem de 30 a 40 metros, considerados o ponto mais baixo e o ponto mais alto, muito distantes entre si. Por esta razão a cidade não encontrou obstáculo a sua expansão. Neste interflúvio, há predomínio de ondulações suaves e desníveis de pequena amplitude, constituídos por depressões fechadas e pelas vertentes dos córregos Lavapés, afluente da margem direita do ribeirão Claro. (PENTEADO-ORELLANA, 1981).

As vertentes dos córregos que entalham os sedimentos arenosos do interflúvio são amplas, de fraca inclinação (inferior a 10°), onde predominam processos de esculturação em área, especialmente o creeping do qual resulta a suave convexidade das formas. As vertentes dos rios principais e pequenos afluentes esculpidos em sedimentos da Formação Corumbataí são mais inclinados (10°, 15° e 20°). Nas vertentes de maior inclinação predomina escoamento

torrencial arrasando o solo e construindo cones de dejeção na desembocadura das fundas ravinas sobre a planície aluvial. Esse processo de deposição é bastante notável, especialmente na várzea do rio Corumbataí. (PENTEADO-ORELLANA, 1981)

A Formação Rio Claro, que capeia os principais interflúvios do sítio urbano, é composta por sedimentos arenosos mal consolidados, e se encontra acima de 580 até 630 metros (PENTEADO-ORELLANA, 1981). Esses sedimentos Neocenoicos são constituídos em sua parte inferior por arenitos inconsolidados de coloração amarela que apresentam intercalações de leitos de argilitos isolados com espessuras variáveis. Ocorrem localmente níveis conglomeráticos cujos seixos são de diâmetro sempre menor que um cm. Apesar de predominar a estrutura maciça são frequentes as estratificações plano-paralelas e cruzadas. Sobrejacente a esta formação, aparecem os latossolos vermelho-amarelos que são solos bastante espessos e apédicos. Do ponto de vista químico, são solos muito ácidos, com soma e saturação em bases muito baixas e com alumínio trocável ao longo do perfil. A vegetação original sobre estes solos era representada por cerrados e cerradões. (COTTAS,1983)<sup>5</sup>

A Formação Corumbataí é a segunda mais expressiva em afloramentos no município de Rio Claro e ocorre, segundo Zaine (2000), na porção compreendida entre a média e a baixa vertente dos vales do ribeirão Claro e do rio Corumbataí. Ocorre em geral, em porções de relevo com declividades baixas a médias, podendo, em áreas mais restritas, junto ao fundo do vale, mostrar ângulos mais acentuados (porção da baixa vertente mais íngreme) em situações onde os canais da drenagem se encontram encaixados.

Esta Formação está representada na área do sítio urbano de Rio Claro por siltitos e arenitos muito finos nas cores lilás, cinza e vermelho, com estratificação plano-paralela e apresentando localmente níveis de calcários olíticos e mais raramente níveis silicificados.(COTTAS, 1983 p. 114).

A partir de sedimentos finos desta formação desenvolvem-se os Argissolos. São solos com profundidade variável entre 1,5 e 2,5 metros, com horizonte B textural, moderadamente drenados, ácidos e com saturação de bases baixa. Eram originalmente recobertos por floresta latifoliada tropical. Hoje estes solos são usados principalmente para plantio de cana de açúcar e secundariamente para pastagens, reflorestamentos e culturas anuais. (COTTAS, 1983)

---

<sup>5</sup> A caracterização pedológica foi baseada em COTTAS (1983) e adaptada à nomenclatura proposta pelo Novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2006).

Ocorre ainda a Formação Serra Geral, representada no município por áreas de sills e diques de diabásio. Os sills aparecem tanto sobrepostos como subjacentes à Formação Corumbataí (COTTAS, 1983). Esta Formação é representada em Rio Claro, pelo morro da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, apresentando características geomorfológicas peculiares e destacando-se na topografia regional e local, com altitudes de até 725 metros, cerca de 100 metros acima da cota média da cidade (ZAINÉ, 2000). Estas rochas apresentam solo residual argiloso de cor vermelha escura, o Latossolo roxo. Este, ocorre em duas variedades, o eutrófico e o distrófico, morfologicamente idênticas, mas diferentes nas características químicas e mineralógicas. São solos argilosos, friáveis e porosos, com horizonte B latossólico e apédico, de cor vermelho-escura. A vegetação original sobre esses solos é representada pela mata latifoliada tropical. Atualmente, estes solos estão ocupados na sua maior parte com plantações de eucalipto nos terrenos da Floresta Estadual Navarro de Andrade, e fora dessa área são utilizados para o plantio de cana de açúcar. (COTTAS, 1983)

Um tipo de solo encontrado na região sem grande expressão em área é o Neossolo, cuja principal característica é a sua pequena espessura, em geral, inferior a 30 cm. Ocorre em áreas restritas ao nordeste e sul do município. Sua textura bastante variada está estreitamente relacionada com a natureza do substrato, que na área nordeste está representada pela Formação Corumbataí e, no sul, pela Formação Irati e por intrusões de diabásio. Do ponto de vista químico, representa teores de soma de bases relativamente alto. Foram ocupados originalmente pela floresta latifoliada tropical e atualmente a cultura de cana de açúcar é a ocupação principal desses solos. (COTTAS, 1983)

Restritos aos vales do rio Corumbataí e ribeirão Claro aparecem Gleissolos, relacionados aos sedimentos aluvionares destes vales. Pelo fato de estarem normalmente encharcados, estes solos apresentam acúmulo de matéria orgânica (horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade) e coloração cinza característica, esta em função dos fenômenos químicos de redução. (COTTAS, 1983)

Do ponto de vista climático, no município há alternância de massas polares e tropicais implicando mudanças bruscas de estados de tempo. Quanto a distribuição anual das chuvas, caracteriza-se pelo regime tropical com duas estações bem definidas, tendo período seco de abril a setembro, com de cerca de 15 a 20 dias de chuva, acumulando um total de 180 a 200 mm. Esta chuva está associada a fatores de frontogênese por ocasião da invasão de massas polares, que provocam amplitudes térmicas médias de 12° a 14°C. O período chuvoso vai de

outubro a março com cerca de 55 a 60 dias de chuva somando um total de 1200mm. Nesta época as amplitudes térmicas são inferiores a 12°C. (TROPMAIR, 1978)

As fortes chuvas da primavera e início do verão, segundo Pentead-Orellana (1981), encontram o solo ressecado pelo longo período de estiagem resultando numa ablação intensa destes. Predominam o escoamento areolar difuso ou laminar nas vertentes com inclinação inferior a 10°, e do escoamento torrencial concentrado em fundas ravinas nas vertentes de inclinação superior a 15°. Desse modo, no equilíbrio das vertentes, predominavam quase sempre as forças da componente vertical que correspondem aos processos de meteorização e pedogênese. De acordo com a autora, como a vegetação, que outrora protegia o solo dos agentes de esculturação, foi drasticamente alterada pela ação antrópica, a esculturação do relevo se processa de forma acelerada, com degradação das vertentes, aumento do volume de água escoada na superfície, aumento da contribuição sólida e aprofundamento dos talvegues. Essa erosão acelerada ou erosão antrópica é o aspecto mais característico da paisagem atual da região. Ela está modificando o perfil das vertentes com novas rupturas, geralmente seguidas de segmentos verticais (barrancos abruptos e retilíneos de 5 a 15 metros); com aprofundamento de ravinas; aparecimento de voçorocas no contato dos sedimentos modernos superficiais com siltitos da Formação Corumbataí; desgaste e carreamento do manto de decomposição superficial, desnudando a rocha intemperizada; aprofundamento e alargamento dos talvegues e desbarrancamento, graças ao aumento do volume de água escoada superficialmente, aumento da contribuição de material argiloso, arenoso ou siltoso nas várzeas e nos leitos dos rios, com redução localizada (geralmente nas convexidades das margens) da capacidade de transporte fluvial e conseqüente deposição de bancos de areia.

## **4.2 A Vertente em Estudo**

Atualmente a área urbana de Rio Claro ocupa grande parte do interflúvio entre o ribeirão Claro e o rio Corumbataí. O perímetro urbano a leste e oeste é limitado respectivamente, pelo ribeirão Claro e rio Corumbataí, e suas vertentes representam os principais vazios urbanos dentro do perímetro, constituindo-se, portanto nos principais vetores de expansão urbana do município.

De acordo com as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas expostas anteriormente, o topo do interflúvio e setores da alta vertente recobertos pela Formação Rio

Claro, em setores da média e baixa vertente, onde ocorrem declividades mais acentuadas, há afloramento da Formação Corumbataí, bem como nas margens dos cursos d'água ocorrem planícies aluviais bastante expressivas. Desta forma, é relevante que a ocupação de tais vertentes seja planejada em consonância com as suas características hidrodinâmicas, uma vez que nestas ocorrem as maiores incidências de voçorocas do município, devido ao contato entre a Formação Rio Claro e a Formação Corumbataí. Segundo Oliveira (1997), os processos erosivos destes setores se dão por discordância erosiva, onde as diferenças texturais que caracterizam as formações respondem pela suscetibilidade erosiva na área de contato. Além disso, a alta impermeabilização destas áreas pode contribuir para a variação no nível do leito maior acarretando problemas de enchentes e ampliando as áreas de risco de inundação para além dos limites naturais.

Por outro lado, o fato de tais áreas apresentarem relativa fragilidade ambiental e posição periférica no contexto urbano, faz com que se tornem acessíveis à população de menor poder aquisitivo. O Índice Paulista de Vulnerabilidade Social - IPVS elaborado pela fundação SEADE, que avalia inúmeros fatores que possam produzir a deteriorização do nível de bem estar em consequência à exposição a determinados riscos demonstra que, na área urbana de Rio Claro, os menores índices estão associados às fragilidades geomorfológicas como proximidades de cursos d' água e suscetibilidade a processos erosivos. Além disso, os índices de vulnerabilidade aumentam no sentido centro-periferia, demonstrando o sentido da desvalorização imobiliária e diminuição na oferta de infraestrutura urbana.

Desta forma, tendo em vista o objetivo aqui proposto, definiu-se como área de estudo para o presente trabalho, uma vertente que se localiza em setor da margem direita do ribeirão Claro, nas proximidades do Bairro Bela Vista, e ocupa uma área de aproximadamente 1,48 Km<sup>2</sup>. A escolha de tal área para a pesquisa se deve ao fato da sua representatividade, do ponto de vista geológico, pedológico e geomorfológico, das demais áreas que se classificam como áreas propícias a urbanização, segundo Plano Diretor de Rio Claro (LEI 3806/2007).

Para delimitar a área de estudo, tomou-se por base o conceito de vertente *latu senso*. Cabe ressaltar que, tendo em vista o arcabouço teórico da geomorfologia antropogênica apresentados por Rodrigues (2005), alguns elementos antrópicos se sobrepuseram aos elementos naturais, especialmente nos setores de topo, em que a vertente apresenta-se urbanizada. No setor sul, considerou-se como limite da área de estudo a Avenida Nossa Senhora da Saúde que foi implantada mediante um corte de aterro que chega a 3 metros de desnível, interrompendo o fluxo do escoamento natural. Desta forma, um pequeno setor ao sul foi excluído por funcionar como um setor independente dos demais setores da vertente, ou



seja, por não influenciar nem ser influenciado pela dinâmica hidrológica dos demais setores devido à existência de um corte de aterro com cerca de 3 m que interrompe o fluxo do escoamento superficial canalizando-o no sentido da declividade da avenida. Além disso, este setor é ocupado por galpões e depósitos a céu aberto de uma indústria madeireira, apresentando constante tráfego de caminhões pesados, o que conferiu total impermeabilização da área. Visitas de campo demonstraram que, mesmo sem pavimentação, os pátios necessitam de sistema de drenagem convencional para drenar o escoamento produzido, uma vez que a infiltração foi prejudicada.

Quanto às características de uso e ocupação da vertente ela pode ser dividida basicamente em dois setores: norte e sul. No setor norte, a área de topo apresenta ocupação incipiente por algumas edificações e arruamentos da Universidade Estadual Paulista; nos setores de média e baixa vertente ocorrem ocupação por vegetação arbustiva típicas de cerrado e vegetação de pasto.

O setor sul é ocupado pela Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, onde predomina cultivo de eucaliptos e um pequeno trecho do topo apresenta-se urbanizado.

Em toda a extensão da baixa vertente, nas margens do ribeirão Claro, predomina vegetação ciliar com espécies de mata atlântica. Destaca-se também a represa para captação de água para o abastecimento público do município de Rio Claro vinculada ao DAAE, que se localiza no setor sudeste da área de estudo. A figura 6 demonstra a localização da área de estudo e destaca algumas características de uso e ocupação do solo.



Figura 6: A vertente em estudo

## 5 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E METODOLÓGICOS

---

Considera-se pertinente a descrição do conjunto de procedimentos que viabilizou a operacionalização da investigação proposta. Tendo em vista os objetivos definidos, admite-se a escala  $\geq 1:5.000$  para abordagem da documentação cartográfica, por possibilitar o nível de detalhe eficiente para análise da área em estudo. No entanto, cabe ressaltar a dificuldade de acesso a material cartográfico neste nível de detalhe, sendo necessário portanto, o levantamento de dados primários. A análise prévia das características pedológicas e geomorfológicas baseou-se em documentos em escala de menor detalhe (1/25.000 e 1/50.000) e foram de fundamental importância para a escolha da vertente em estudo.

A Figura 7 sintetiza os principais procedimentos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

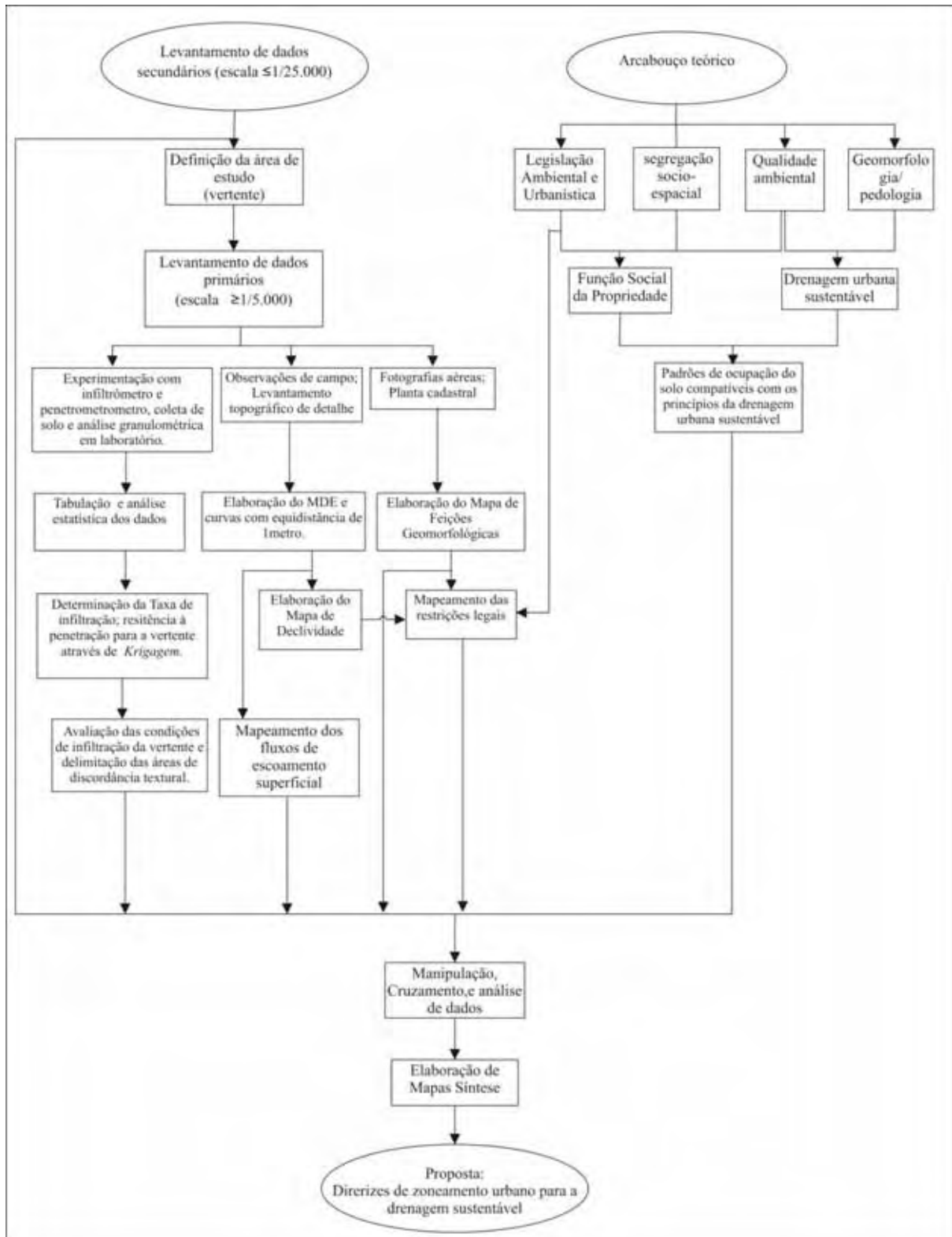


Figura 7: Organograma das etapas técnicas da pesquisa. Elaboração: o autor

## 5.1 Mapa de Feições Geomorfológicas

O mapa de Feições Geomorfológicas foi elaborado tendo como principais referenciais as propostas de Tricart (1965 apud CUNHA, 2001) e RODRIGUES (2005). Segundo Cunha (2001), os mapas geomorfológicos detalhados propostos por Tricart (1965), devem conter quatro tipos de informações: 1) morfometria: que pode ser representada pelas topografia (rede de drenagem e curvas de nível); 2) morfografia: símbolos que localizam e espacializam as formas de relevo e sua extensão. 3) morfogênese: representados através dos símbolos com o objetivo de distinguir processos morfogenéticos atuantes na área; 4) Cronologia: deve representar o momento da história morfogenética do terreno. Tricart (1965), também recomenda a representação de dados referentes ao arcabouço estrutural. No entanto, no presente trabalho, devido ao nível de detalhe da escala de análise, optou-se por proceder à elaboração de apenas duas etapas: morfometria e morfografia. Desta forma, o mapa de tais representações do relevo foi denominado “Mapa de Feições Geomorfológicas”.

A concepção de Rodrigues (2005), condiz com os objetivos aqui propostos, uma vez que a interferência antrópica é inserida pela autora como ação geomorfológica que interfere nos processos da vertente, podendo gerar o que ela denomina “morfologia antropogênica”. Desta forma, a simbologia utilizada na etapa da morfografia mesclou a representação de formas do ambiente físico natural e atributos antropogênicos, especialmente no que concerne a rede de drenagem pluvial artificial, orientação dos arruamentos e a rupturas topográficas artificiais. Buscou-se representar em vermelho: as formas antrópicas e, preto: as naturais.

Para a elaboração do mapa de Feições Geomorfológicas foram utilizados os seguintes materiais:

- Fotografias aéreas verticais, preto branco, de junho de 1995 (BASE-SA) na escala aproximada 1:5.000 (FX10 N<sup>95</sup> 31, 32, 33, 34, 35, 36, FX11 N<sup>95</sup> 31, 32, 33, 34, 35, 36)
- Fotografia aérea Colorida, de 2006 (BASE –SA) na escala aproximada de 1/30.000 em meio digital (FAIXA:135 FOTO:6283 )
- Planta Cadastral do Município de Rio Claro-SP Prefeitura Municipal na escala 1:10.000, disponível em meio digital no programa AutoCad. Foram utilizados especialmente os Layers da malha urbana e da topografia.

A elaboração de tal mapa pautou-se primeiramente na fotointerpretação das fotografias aéreas da área na escala 1:5.000. Foram criados overlays que posteriormente foram escaneados. No SIG ArcGis 9, elaborou-se um mosaico semi-controlado com as fotografias

na escala 1:5.000 que compuseram um banco de dados com os overlays (que também foram mosaicados) com a Planta Cadastral (topografia e malha urbana), e a fotografia na escala 1:30.000, de 2006. Todo este banco de informações serviu de base para a vetorização do mapa de Feições Geomorfológicas. A fotografia de 2006 permitiu detalhar as feições antrópicas recentes, como aterros e cortes. Além disso, foram realizados trabalhos de campo durante o processo de fotointerpretação para um maior detalhamento e atualização das feições representadas.

Cabe ressaltar que o mapa de Feições Geomorfológicas, só chegou à versão definitiva após o levantamento topográfico de detalhe no qual se obteve curvas com equidistância de 1 metro, essencial para o nível de detalhe pretendido. O procedimento para detalhamento da topografia será apresentado na sequência.

## **5.2 Levantamento Topográfico de Detalhe**

A topografia na escala 1:10.000, apresentada na Planta Cadastral de Rio Claro mostrou-se incompatível com a escala de trabalho proposta, sendo necessário fazer um levantamento topográfico de detalhe da vertente. Para tanto, foi utilizado o teodolito - modelo ZEISS THEO 010A. Os princípios para tal levantamento e posterior tratamento dos dados encontram-se descritos em Borges (1977).

As etapas técnicas adotadas foram:

- Definição da malha de levantamento e levantamento dos pontos em campo: foram utilizados, a princípio, os perfis definidos para o levantamento de dados experimentais e solo, buscando registrar as variações das formas do relevo através de irradiações. Nos setores ocupados por vegetação foram utilizados os caminhos e arruamentos, a partir dos quais se irradiou pontos na direção dos perfis e de variação significativas do relevo. Mediante tal procedimento, para os setores de relevo mais movimentado, a malha de pontos cotados levantados foi mais densa, comparada a setores mais homogêneos;
- Tratamento dos dados no software Microsoft Office Excel 2007;
- Tratamento estatístico dos dados por meio de abordagem Geoestatística e elaboração de modelo numérico do terreno. Interpolação dos dados e obtenção do Modelo Digital de elevação no software Surfer 8;

- Extração das curvas de nível, com equidistância de 1 m no software Arc Gis 9 e avaliação da compatibilidade entre a equidistância pretendida e a malha de pontos;
- Avaliação e ajuste do modelo numérico do terreno baseado nas observações e conhecimento de campo. Edição, ajustes e suavização das geometrias de relevo para refinamento do modelo, no software Arc Gis 9.

A partir da nova topografia o mapa de Feições Geomorfológicas foi ajustado.

### 5.3 Mapa de Declividade

A partir do modelo Digital de Elevação do Terreno, ainda no software Arc Gis 9, derivou-se o Mapa de Declividade. Utilizaram-se intervalos de classes já consagrados pelos estudos de capacidade de uso/aptidão agrícola e, aqueles conhecidos como valores limites críticos da geotecnia, indicativos respectivamente do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos/deslizamentos e inundações sugeridos por Ross (1994) e De Biasi (1992).

Deste modo foram estabelecidas as seguintes classes de declividade:

- 0 a 5,9% - limite urbano-industrial, utilizados internacionalmente e em trabalhos de planejamento urbano efetuados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo;
- de 6 a 11,9% - limite máximo da mecanização na agricultura;
- de 12 a 19,9% - intervalo sem restrições para urbanização;
- de 20 a 29,9% - limite máximo de urbanização sem restrições previstos pela lei 6766/79 (Lei de Parcelamento de Solo Urbano), a partir do qual qualquer forma de parcelamento só será permitida através de exigências específicas;
- de 30 a 49,9% - intervalo não propício a urbanização, necessidade de preservação da cobertura vegetal para manutenção do equilíbrio;
- maior que 50% - intervalo extremamente crítico para urbanização, necessidade de preservação da cobertura vegetal para manutenção do equilíbrio.

## 5.4 Malha Amostral de Levantamento de Dados em Campo

Com o objetivo de analisar as características hidrogeomorfológicas da vertente em estudo, buscou-se levantar dados pedológicos e geomorfológicos desta. Tal levantamento baseou-se na experimentação com infiltrômetro e penetrômetro e na coleta de amostras de solo para análise granulométrica em laboratório. Para tanto, foi elaborada uma malha de pontos para levantamento dos dados amostrais. Tal procedimento teve como referência o trabalho de Montanari et al. (2005), que consideram que a variabilidade dos atributos pedológicos associa-se a variabilidade das formas geomorfológicas. Definiu-se, assim, uma malha irregular, orientada por perfis topográficos no sentido topo – fundo de vale. O espaçamento entre os perfis teve como critério a avaliação prévia da variabilidade das formas do relevo representadas no mapa de Feições Geomorfológicas. Definiram-se nove perfis topográficos em toda a extensão horizontal da vertente em estudo, e dois semi-perfis localizados em setores da baixa vertente, onde o relevo é mais movimentado. Desta forma, os setores de maior variabilidade das formas foram avaliados por uma quantidade maior de pontos amostrais.

A localização exata dos pontos de coleta baseou-se nos perfis topográficos, os quais permitiram identificar segmentos com mesma declividade e, para cada um desses, foi estabelecido um ponto de coleta e experimentação. Nos casos em que o perfil apresentou homogeneidade nas características de declividade em toda sua extensão ou em extensos segmentos (setores retilíneos), os pontos amostrais foram definidos com base nas rupturas topográficas identificadas nas fotografias aéreas e representadas no mapa de Feições Geomorfológicas. Nestes casos, buscou-se definir um ponto a montante e um a jusante da ruptura. Para cada perfil, foram estabelecidos entre quatro e cinco pontos para coleta de dados. Além disso, no setor da vertente que se encontra urbanizado foi definido um ponto de coleta em um lote sem edificação. A Figura 8 demonstra o procedimento para a definição dos pontos amostrais por perfil e a Figura 9 apresenta a malha de levantamento de dados.



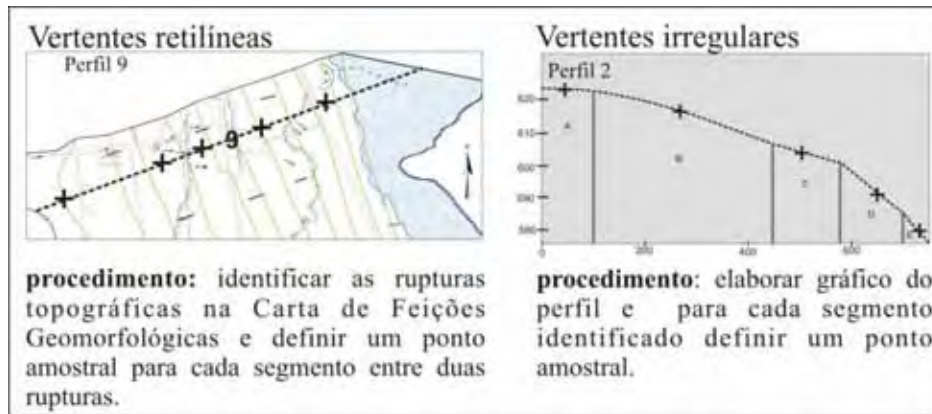


Figura 8: Procedimentos para definição da malha de pontos amostrais. Elaboração: o autor

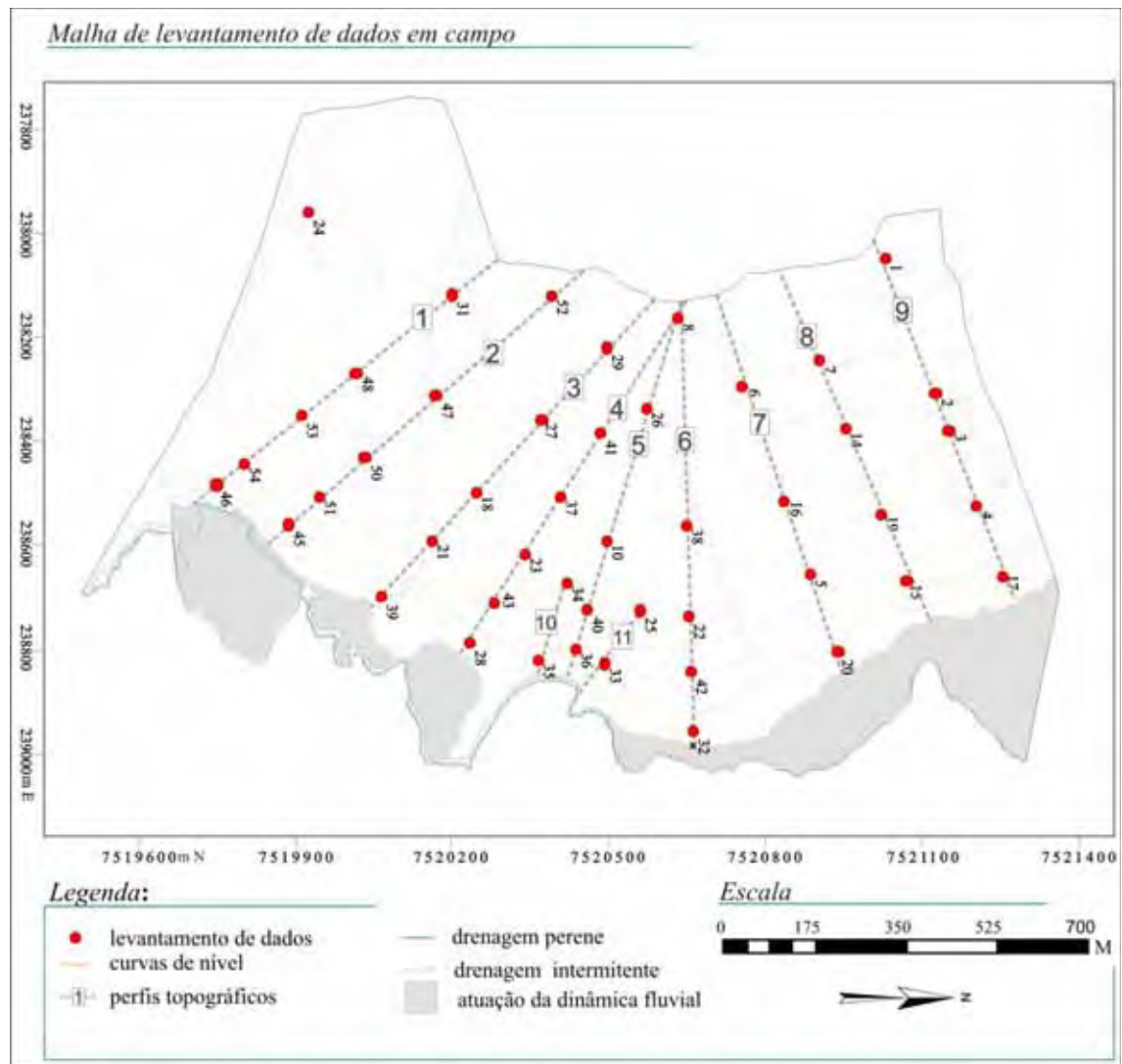


Figura 9: Malha de levantamento de dados em campo. Elaboração: o autor

A avaliação qualitativa das formas por meio do mapa de Feições Geomorfológicas foi critério indispensável para a otimização deste esquema amostral. A adoção de uma malha

regular demandaria um número de pontos elevado e desnecessário, uma vez que a mesma equidistância necessária para avaliar a variabilidade nos setores mais movimentados do relevo teria que ser aplicada em setores planos e retilíneos, que indicam homogeneidade e, portanto, não requerem tanto detalhamento.

Para localizar os pontos em campo foi necessário partir de referenciais como arruamentos e construções, e após achar o ponto inicial, tendo o azimute do perfil definido, prosseguiu-se com o auxílio da bússola e de uma trena, uma vez que a distância entre os pontos era conhecida.

## 5.5 Taxa de infiltração

Com o objetivo de avaliar o comportamento da infiltração na vertente, procedeu-se a uma experimentação para mensurar a taxa de infiltração nos inúmeros pontos amostrais. Tal experimentação apoiou-se nos procedimentos técnicos descritos por Guerra (1996), a partir da utilização do infiltrômetro cilíndrico idealizado por Hills (1970).

Para construir tal infiltrômetro utilizou-se um cano de PVC com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro interno; no interior deste foi fixada uma régua de 10 cm. Tal equipamento é colocado no solo e com o auxílio de um martelo é fixado a 5 cm de profundidade, de forma que o zero da régua interna esteja no nível do solo. Esse processo deve ser feito com cuidado para não perturbar o solo. Após fixar o equipamento, ele é abastecido com água e com o auxílio de um cronômetro é registrada a profundidade da água a cada 30 segundos nos primeiros dois minutos e posteriormente a cada minuto. O experimento durou 30 minutos em cada ponto (Figura 10).



Figura 10: Experimento com o infiltrômetro. (Foto: Barbosa, C. 03/2009)

A taxa de infiltração representa a velocidade que a água penetra no solo. As grandezas de medida envolvem volume de água, a área do anel e o tempo. O resultado pode ser expresso em: cm/s; cm/min; mm/s; mm/m; mm/h (THOMAZ, 2008). No início a taxa de entrada de água no solo é rápida, mas diminui conforme o suprimento de água continua, até atingir um valor relativamente constante (CAMARGO, et al.. 1986).

De acordo com Thomaz (2008), o infiltrômetro geralmente superestima a taxa de infiltração, desta forma, o autor recomenda que este equipamento seja usado para comparar a taxa de infiltração entre sistemas de usos ou como medida indireta de compactação do solo. Neste trabalho, o uso do equipamento teve por objetivo comparar a variação da taxa de infiltração entre diferentes setores da vertente.

A variação pluviométrica sazonal interfere na saturação do solo e, portanto, na taxa de infiltração obtida. Como o objetivo deste experimento é a comparação entre áreas, se o experimento fosse feito em condições pluviométricas distintas não seria viável a comparação. Desta forma, tomou-se cuidado para que os experimentos ocorressem sob as mesmas condições pluviométricas, período de baixa pluviosidade. A experimentação foi realizada entre 27 de maio a 10 de junho de 2009, período no qual não foram registradas chuvas diárias e, de acordo com dados da estação meteorológica da UNESP de Rio Claro, (Anexo1) que localiza-se a poucos metros do limite da área em estudo, não havia registros de chuvas expressivas desde meados de março, portanto o solo apresentava-se bastante seco durante a execução do experimento.

A partir dos registros do experimento em campo, calcula-se, para cada minuto, o volume de água infiltrado:  $(V = (\pi r^2) h)$ . Para o modelo de infiltrômetro utilizado, o raio é de 5 cm, e h é a diferença entre o valor registrado no minuto a ser calculado e o registrado no minuto anterior.

Durante os 30 minutos de experimentação com o infiltrômetro não foi possível atingir o ponto de saturação do solo. No entanto, o experimento permitiu constatar diferenças significativas quanto à Taxa de Infiltração e o volume total infiltrado entre os diferentes pontos da vertente. O gráfico abaixo (Figura 11) exemplifica a variabilidade da infiltração entre os pontos de um mesmo perfil.

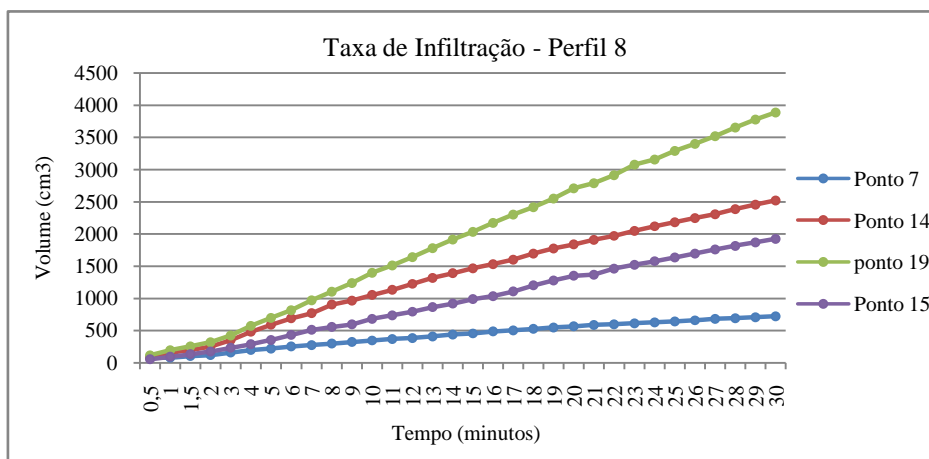


Figura 11: Gráfico comparando a Taxa de Infiltração em quatro pontos. Elaboração: o autor

Os códigos de cada ponto amostral do perfil estão dispostos no sentido topo da vertente fundo de vale na seguinte ordem: 7, 14, 19 e 15. Desta forma, pode-se constatar que o setor de maior infiltração para este perfil localiza-se na média vertente (ponto 19) enquanto que o de menor infiltração localiza-se no setor de topo (ponto 7). Cabe ressaltar, que para cada perfil obteve-se resultado diferente para os setores, não havendo similaridade entre estes.

Embora seja relevante entender o comportamento da infiltração em cada ponto, o que se pretende com estes dados é conhecer a expressão espacial deste fenômeno, ou seja, estabelecer a variação do comportamento da infiltração para toda a vertente. Para tanto, é necessário recorrer a métodos geoestatísticos, através dos quais, dados pontuais, com coordenadas conhecidas, são utilizados para estimar superfícies contínuas. O método geoestatístico utilizado neste processo foi o da Krigagem em que cada ponto da superfície é estimado a partir da interpolação das amostras mais próximas.

A variável utilizada para representar as características de infiltração para toda a vertente foi a Taxa de Infiltração média, obtida conforme a fórmula:

$$TI = Vol/t$$

Onde TI = Taxa de Infiltração Média, dada em cm/s; cm/min; mm/s; mm/m ou mm/h

Vol = Volume total infiltrado durante todo o experimento

t = duração do experimento (no caso 30 minutos)

Antes de iniciar o processamento geoestatístico, procedeu-se a análise descritiva dos dados através da qual se constatou pontos discrepantes, ou seja, pontos que produzem alta

variabilidade dos dados e distorção dos mesmos em torno da média, prejudicando a existência de normalidade, que é desejável nestes estudos.

Tal discrepância dos dados tem justificativa no fato destes localizarem-se em pequenas áreas que, devido às características da cobertura vegetal, podem ser consideradas áreas de exceção no contexto da vertente. Trata-se de pequenos setores em que a vegetação apresentou-se de forma mais densa, com sub-bosque, fato que pode relacionar-se ao elevado valor registrado para a taxa de infiltração. Desta forma, para que os dados discrepantes não distorçam os valores a serem estimados, ou seja, para que os dados passem a apresentar uma distribuição normal, realizou-se uma transformação de acordo com a família Box-Cox, obtendo-se no software R,  $\lambda = 0,1781254$ , (ou seja os valores de infiltração foram elevados a  $0,1781254$ ) para normalização dos dados. O método estatístico de transformação encontra-se descrito por Sartorio et al. (2007) e Ré et al. (2009). Cabe ressaltar, que foram avaliados os dados de Taxa de Infiltração transformados pelo método estatístico citado. Mediante tal processo não é possível utilizar a unidade de medida  $\text{cm}^3/\text{s}$ , no entanto o crescimento do valor da Taxa de Infiltração implica crescimento do valor dos dados transformados.

Buscou-se então, ainda no software R através do pacote geoR (R version 2.8.1) o semivariograma experimental e o ajuste dos dados a partir da correlação conhecida. Este procedimento, indica o modelo que melhor se ajusta aos dados e os parâmetros para a estimação de valores em locais onde não foram coletadas amostras ("krigagem"). Com tais parâmetros, através do software Surfer 8, procedeu-se a Krigagem avançada, originando o mapa para a Taxa de Infiltração Transformada. Os procedimentos adotados neste programa encontram-se em Landin et al. (2002). (Os dados de Taxa de Infiltração para cada ponto amostral e os relativos valores após transformação estão apresentados no Anexo 2)

A partir dos dados de Taxa de Infiltração Transformada buscou-se estabelecer intervalos de classes através da fórmula de Sturges (número de classes =  $1 + 3,3 \log n$ , onde  $n$  é número total de observações, ou seja 44). Os intervalos de classes estabelecidos para a taxa de infiltração transformada e os correspondentes aos valores em  $\text{cm}^3/\text{s}$  estão representados na tabela 4. Os valores em  $\text{cm}^3/\text{s}$  foram obtidos através da operação inversa da transformação e teve por objetivo de facilitar a leitura dos dados.

Tabela 4: Intervalos de Classes para Taxa de Infiltração

Taxa de Infiltração transformada	Taxa de Infiltração (cm <sup>3</sup> /s)
0,381188 - 0,532797	0- 0,029167
0,532798 - 0,684406	0,029168 - 0,118972
0,684407 - 0,836015	0,118973 - 0,365855
0,836016 - 0,98725	0,365856 - 0,9304
0,98726 - 1,139234	0,9305 - 2,07886
1,139235 - 1,290843	2,07887- 4,19224
1,290844 - 1,442454	4,19225 - 7,819915308

## 5.6 Textura Dos Solos – Percentual de Areia em Superfície e Discordância Textural

A textura do solo expressa a distribuição percentual das partículas primárias (areia, silte e argila) e é determinada através da análise granulométrica.

Considerando-se que diferenças de texturas dos solos respondem por características de infiltração distintas - solos arenosos possuem capacidade de infiltração mais elevada que solos argilosos - optou-se por proceder à análise granulométrica na vertente em estudo.

Foram coletadas duas amostras por ponto, totalizando 88 amostras. Uma amostra foi retirada em superfície – a cerca de 20 cm de profundidade - e uma em subsuperfície - entre 45 e 48 cm de profundidade. Este procedimento foi estabelecido com base na análise prévia das características de solo que ocorrem na área. De acordo com Oliveira e Prado (1984) e Cottas (1993), ocorrem na área em estudo Latossolos Vermelho Amarelo e Argissolos. Os Latossolos não apresentam expressiva variabilidade textural nos seus perfis, porém os Argissolos apresentam variabilidade entre o horizonte A e B. De acordo com Oliveira e Prado (1984) o horizonte B nos argissolos situam-se abaixo de 30 cm de profundidade e, desta forma, ficou estabelecido que a segunda amostra deveria ser coletada a cerca de 40 cm para que fossem registrados os casos de variabilidade textural entre os horizontes.

As análises foram feitas no Laboratório de Análise de Formações Superficiais do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento da UNESP de Rio Claro, utilizando o método da Pipeta, descrito por CAMARGO et al. (1986). (Os dados da análise granulométrica para cada ponto amostral estão apresentados no ANEXO 2)

A partir dos resultados, procedeu-se a análise estatística dos dados de areia em superfície e argila em superfície e subsuperfície. Para todos os dados, constatou normalidade, ou seja, os dados não apresentaram discrepância. Buscou-se então, através do Software R, o semivariograma e o modelo que melhor se ajuste aos dados de cada uma das três variáveis e a partir do modelo indicado e dos parâmetros encontrados, partiu-se para a Krigagem avançada no software Surfer 8. Este procedimento gerou modelos numéricos para o percentual de areia em superfície, percentual de argila em superfície e em subsuperfície da área de estudo.

Para a concentração de areia em superfície foram estabelecidas as seguintes classes temáticas: de 36,2 a 43,4%, de 43,5 a 50,7%, de 50,8 a 58%, de 58,1 a 65,3%, de 65,4 a 72,7%, de 72,8 a 80%, de 80,1 a 87,5%.

A partir dos modelos numéricos gerados para a concentração de argila em superfície e subsuperfície, buscou-se identificar setores de ocorrência de discordância textural. Para tanto, foi utilizado o conceito apresentado pela Embrapa (1999), que classifica como mudança textural abrupta, o considerável aumento do teor de argila dentro de pequena distância na zona de transição entre o horizonte A ou E, e o horizonte subjacente. De acordo com tal documento, há mudança textural abrupta quando o horizonte A ou E tiver menos de 20% de argila e o teor de argila do horizonte subjacente B, determinado a uma distância vertical de 7,5 cm, deve ser pelo menos o dobro do conteúdo do horizonte A ou E. Quando o horizonte A ou E tiver 20% ou mais de argila, o incremento no horizonte B, determinado em uma distância vertical de 7,5 cm, deve ser pelo menos de 20% a mais em valor absoluto (por exemplo de 30% para 50%). Este procedimento foi feito através do software Arc Gis 9.

## **5.7 Resistência dos Solos à Penetração**

A resistência do solo à penetração é um índice integrado de compactação do solo, umidade, textura e tipo de mineral de argila (BAVER et al., 1972 apud CAMARGO et al., 1986). Para caracterizar a resistência do solo, é usado um equipamento denominado penetrômetro, que oferece uma maneira fácil e rápida de medir a resistência a várias profundidades. Na agronomia, é bastante utilizado para relacionar fatores de resistência do solo a alongação radicular. Cordeiro et al. (1998), afirmam que a resistência do solo à penetração é, assim como a infiltração da água, um método secundário para avaliação da

compactação do solo; além disso, alguns modelos de penetrômetros são utilizados na determinação da capacidade de suporte do solo.

No presente trabalho, utilizou-se o penetrômetro de impacto para determinar o índice de resistência do solo para a vertente em estudo. O princípio de utilização deste equipamento é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste, após o recebimento de um impacto provocado pelo deslocamento vertical de um bloco de ferro.

Os dados obtidos através deste equipamento permitem inferir características quanto à infiltração da água e características quanto à susceptibilidade a processos erosivos, visto que, a variação na resistência à penetração indica variação da resistência ao impacto da água da chuva.

Alguns cuidados que devem ser observados durante a utilização do penetrômetro são: a) quanto mais seco estiver o solo, maior a sua resistência à penetração (CORDEIRO et al., 1998) e, portanto, a coleta de dados deve ser realizada após período de chuva suficiente para molhar profundamente os horizontes do solo (THOMAZ, 2008); b) a resistência do solo é influenciada pela textura; c) deve-se tomar cuidado ao utilizar o penetrômetro em solos pedregosos pois apenas um fragmento de rocha pode invalidar a leitura; e) penetrômetros diferentes em solos iguais resultam em medidas diferentes; deve-se repetir o experimento cerca de 4 vezes para garantir confiabilidade dos dados, uma vez que cupinzeiros, raízes, fragmentos de rocha podem interferir no resultado. (CORDEIRO, et al. 1998).

Neste experimento utilizou-se um penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf, com peso de 4 Kg e curso de queda livre de 40 cm. A leitura é feita manualmente em uma haste que penetra no solo, e pode atingir uma profundidade máxima de 70 cm. No solo é fixada uma chapa para dar o nível de referência de leitura. O procedimento em campo consiste em soltar o peso, anotando em planilha o número de impactos e a profundidade registrada na haste do penetrômetro (STOLF et al., 1983).

Para caracterizar a resistência à penetração na vertente em estudo procurou-se, para cada ponto, atingir a profundidade mínima de 30 cm, tendo em vista a relevância das condições de resistência das camadas superficiais do solo para o processo de infiltração e produção de escoamento. Em cada ponto, esse procedimento foi repetido de três a quatro vezes num raio de cerca de 50 cm, para que eventuais interferências fossem identificadas mediante a observação de discrepância nos dados. Quando em uma das repetições foi identificada discrepância, o dado foi descartado. Desta forma, calculou-se a média da relação entre cada impacto e a profundidade registrada e a partir desta média, calculou-se o índice de penetração.



O Índice de Penetração - IP calculado é a relação entre o número de impactos e o deslocamento dado em cm, mm ou dm. Desta forma, o IP pode ser assumido como uma medida relativa da resistência do solo, calculado através da seguinte fórmula:

$$IP = \text{número de impactos/profundidade}$$

A profundidade definida para cálculo do IP neste estudo, foi de 3 dm, ou seja 30 cm. Desta forma, um ponto em que foram necessários 10 impactos para o penetrômetro atingir 3 dm de profundidade apresenta maior resistência do que um ponto em que foram necessários 5 impactos: IP respectivamente igual a 3,33 e 1,67 impactos/dm. Sugere-se o uso da unidade de medida dm, ao invés de cm, para que os índices finais não seja representados por números muito pequenos.

Considerando a necessidade de umidade no solo durante o experimento, procedeu-se a este no período de 22 e 26 de março de 2010, imediatamente após período de alta pluviosidade.

A análise descritiva dos dados constatou a existência de pontos discrepantes, a exemplo do que ocorreu com os dados para a taxa de infiltração. Para obter uma distribuição normal, realizou-se uma transformação de acordo com a família Box-Cox, obtendo-se no software R,  $\lambda = -1$  (ou seja, os valores de resistência foram elevados a -1). Os dados para resistência foram invertidos com a transformação, portanto o crescimento do valor de resistência à penetração implica o decréscimo do valor dos dados transformados. (Os dados de resistência à penetração para cada ponto amostral e os relativos valores após transformação estão apresentados no ANEXO 2)

Ainda no software R gerou-se o semivariograma e buscou-se o modelo que melhor se ajusta aos dados. Com tais parâmetros e com o modelo indicado, procedeu-se a “Krigagem” avançada através do software Surfer 8, originando um modelo numérico para a Resistência a Penetração Transformada.

A partir do modelo numérico do terreno para a variável Resistência à Penetração transformada, foram estabelecidas as seguintes classes temáticas: de, de, de, de.

A partir dos dados de Resistência a Penetração Transformada buscou-se estabelecer intervalos de classes através da fórmula de Sturges (número de classes =  $1 + 3,3 \log n$ , onde n é número total de observações, ou seja 44). Os intervalos de classes estabelecidos para resistência a Penetração Transformada e os correspondentes aos valores em impactos/dm

estão representados na tabela 5. Os valores em impactos/dm foram obtidos através da operação inversa da transformação e teve por objetivo de facilitar a leitura dos dados.

Tabela 5: Intervalos de Classes para Resistência a Transformação

Resistência à penetração transformada	Resistência à penetração (impactos/dm)
0,050485 - 0,133227	20,15 - 7,50598
0,133228 - 0,167298	7,50597 - 5,97735
0,167299 - 0,197718	5,9774 - 5,0577
0,197719 - 0,225705	5,0576 - 4,43056
0,225706 - 0,253691	4,43055 - 3,9418
0,253692 - 0,287762	3,9417 - 3,47509
0,287763 - 0,362	3,47508 - 2,76

## 5.8 Mapa de Condições de Infiltração

Procurou-se avaliar de maneira integrada os resultados obtidos para Taxa de Infiltração, Concentração da Areia em superfície, Resistência do Solo à Penetração e Declividade, resultando em um produto cartográfico de síntese das condições de infiltração da vertente. Para tanto, tomou-se por premissas que:

- para Areia em Superfície e Taxa de Infiltração, os maiores valores indicam melhores condições de infiltração, e vice-versa;
- Para Declividade, os menores valores indicam melhores condições de infiltração, e vice-versa;
- Para Resistência à penetração, os menores valores indicam melhores condições de infiltração, e vice-versa.

Foram associados números variando de 1 a 6 para as classes temáticas definidas para a declividade e de 1 a 7 para as demais variáveis, sendo que 1 indica as piores condições de infiltração e 7 as melhores, conforme pode-se observar na tabela 6.

Tabela 6: Pesos associado às classes temáticas relativos à condição de infiltração

Peso associado às classes	Areia em superfície (%)	Taxa de Infiltração (cm <sup>3</sup> /s)	Resistência à Penetração (impactos/dm)	Declividade (%)
1	36,2 - 43,4	0- 0,029167	20,15 - 7,50598	≥50
2	43,5 - 50,7	0,029168 - 0,118972	7,50597 - 5,97735	30 - 49,9
3	50,8 - 58	0,118973 - 0,365855	5,9774- 5,0577	20 - 29,9
4	58,1 - 65,3	0,365856 - 0,9304	5,0576 - 4,43056	12 - 19,9
5	65,4 - 72,7	0,9305 - 2,07886	4,43055 - 3,9418	6 - 11,9
6	72,8 - 80	2,07887- 4,19224	3,9417 - 3,47509	0 - 5,9
7	80,1 - 87,5	4,19225 - 7,819915308	3,47508 - 2,76	

Elaboração: o autor

Desta forma, obteve-se para cada situação uma associação numérica de quatro dígitos na qual um dígito corresponde à areia em superfície (variando de 1 a 7), um dígito à taxa de infiltração (variando de 1 a 7), um à resistência à penetração (variando de 1 a 7) e um dígito à declividade (variando de 1 a 6). Este procedimento foi adaptado de Ross (1994). As combinações totalizam 2058 possibilidades. Como para declividade como optou-se por utilizar os intervalos de classes consagrados pela literatura o maior número associado a esta é 6, portanto a amplitude das combinações vai de 1111 a 7776. Tendo-se em vista a dificuldade de avaliar qualitativamente este imenso número de possibilidades e considerando-se que todas as variáveis apresentam o mesmo peso na combinação, optou-se por trabalhar com a multiplicação dos dígitos. Desta forma áreas que, por exemplo, apresentem a combinação 1x2x4x5 (Areia = 1, Taxa de Infiltração = 2, Resistência = 4 e Declividade = 5) têm condição de infiltração similar à de áreas que apresentem a combinação 5x4x2x1 (Areia = 5, Taxa de Infiltração = 4, Resistência = 2 e Declividade = 1).

A associação dos dígitos às classes foi executada no software Arc Gis 9.3 e posteriormente procedeu-se a multiplicação dos dados originando o mapa denominado Condições de Infiltração. As classes temáticas deste mapa foram estabelecidas conforme o resultado da multiplicação, porém avaliou-se qualitativamente a coerência destas com a combinação. Considerando-se que o valor 4 corresponde a situação média para condições de infiltração em qualquer variável, a combinação 4435, por exemplo, que apresenta duas variáveis na média, uma abaixo e uma acima, deve enquadrar-se em uma classe que indique uma situação média; já a combinação 3344, por exemplo enquadra-se na classe de condição baixa de infiltração, uma vez que apresenta duas variáveis na média e duas abaixo da média.

Em decorrência desta avaliação originou-se 5 intervalos de classes com amplitudes variadas, conforme apresentado na tabela 7.

Tabela 7: Classes temáticas para condição de infiltração

Classes	Intevalo	Exemplos de combinações
Baixa	48 a 192	1246, 1344, 2226, 2234
Média	193 a 336	1774, 2455, 4444, 3366
Alta	337 a 504	7771, 4446, 3476, 4555
Muito alta	505 a 864	3575, 3676, 4666, 4575
Extremamente alta	865 a 1470	5575, 4775, 5776, 7773

Elaboração: o autor

## 5.9 Mapa de Restrições Legais Urbanas e Ambientais

O mapa de restrições legais foi elaborado no software Arc Gis 9 embasado no mapa de Feições geomorfológicas e o mapa de Declividade. As restrições legais mapeadas referem-se à legislação urbana e ambiental e basearam-se no Código florestal (LEI 4.771/1965), na Resolução CONAMA (303/2002), na Lei de Parcelamento de Solo Urbano Federal (LEI 6766/1979), e no Plano Diretor Municipal de Rio Claro (LEI Municipal 3806/2007). Os procedimentos adotados e as respectivas normas legais observadas foram:

- Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao redor dos cursos d'água perenes ou intermitentes em observação ao artigo 2º do Código Florestal - criou-se um buffer de 30 metros de largura a partir dos cursos d'água e, em setores de ocorrência de planícies aluviais, a partir destas, uma vez que constituem o “nível mais alto em faixa marginal”. Ao redor das nascentes criou-se um buffer de 50 metros;
- Delimitação das Áreas de Preservação Permanente ao redor da represa do DAAE – criou-se um Buffer de 30 metros de largura a partir das margens da represa, conforme previsto pelo inciso I, artigo 3º da Resolução CONAMA 303 de 2002;
- Delimitação da “área não edificável” ao longo dos cursos d'água correntes e dormentes: criou-se um “buffer” de 15 metros paralela às APPs conforme prevê inciso III do artigo 4º da Lei de Parcelamento de Solo;
- Delimitou-se as áreas com restrições à ocupação urbana devido à alta declividade:
  - a) áreas com 30% ou mais de declividade, que não podem ser urbanizadas, conforme prevê o inciso III do artigo 3º da lei de Parcelamento de Solo Urbano (LEI 6766/1979)

b) áreas com declividade entre 15% e 30% que conforme o Artigo 34 do Plano Diretor Municipal de Rio Claro (LEI 3806/2007) deverão seguir as curvas de nível alterando-se as quadras de forma que as vias que seguem o sentido do declive não sejam contínuas e conforme o artigo 35 da mesma lei as áreas dos loteamentos destinadas ao uso institucional não poderão situar-se nestas áreas.

## 5.10 Mapa de Fluxos de Escoamento Superficial

A fim de compreender o percurso preferencial do escoamento superficial procedeu-se a um método denominado “fluxo múltiplo” (*multiple flow*), também chamado de “transferência de fluxo distribuída” ou “fluxo distribuído”. A elaboração do mapa de fluxos de escoamento superficial foi desenvolvida no software Arc View 3.2 através da ferramenta Hydrotools. Os procedimentos adotados encontram-se descritos em Schäuble (2004) e Fontes (2009). Para elaborar tal mapa, é necessário um bom modelo digital de elevação do terreno, com resolução espacial compatível com a escala de análise.

Tal método gera a espacialização das áreas de contribuição que correspondem à tendência do percurso do escoamento superficial. A partir dele, é possível identificar setores de concentração do fluxo superficial e, estimar, através da avaliação da área de contribuição para cada setor, as áreas mais críticas quanto ao volume de fluxo acumulado. Cada pixel no modelo numérico produzido, apresenta um valor relativo a área a montante deste, ou seja, a área total que direciona o escoamento superficial para este, portanto os valores são representados em  $m^2$ ,  $Km^2$  ou  $ha^2$ . No caso utilizou-se a unidade de medida  $m^2$ .

O MDE desenvolvido através do levantamento topográfico de detalhe permitiu resultados satisfatórios, compatíveis com a escala de trabalho. A resolução espacial deste é de 1,307x1,307m, o que permitiu incluir na análise, elementos de pequena expressão espacial como alguns arruamentos e cortes de aterro.

Para estabelecer as classes temáticas do mapa de Fluxos de Escoamento Superficial gerou-se inicialmente um número elevado de classes e posteriormente, buscou-se agrupá-las, avaliando a qualidade do resultado com base nas demais características da área (formas do relevo, declividade, dados morfológicos representados na carta geomorfológica, conhecimento de campo) realizando-se vários testes em busca de uma aproximação com a realidade. Desta

forma, foram estabelecidas as seguintes classes temáticas: de 0 a 49 m<sup>2</sup>, de 50 a 99 m<sup>2</sup>, de 100 a 199 m<sup>2</sup>, de 200 a 499 m<sup>2</sup>, de 500 a 999 m<sup>2</sup>, de 1000 a 2999 m<sup>2</sup>, de 3000 a 230.550 m<sup>2</sup>.

A amplitude da última classe se deve à pequena frequência encontrada para este intervalo.

### 5.11 Mapa Síntese: Condições de Infiltração e Escoamento.

O cruzamento do mapa de Condições de Infiltração com o mapa de Fluxos de Escoamento Superficial, originando o mapa de Condições de Infiltração e Escoamento constituiu etapa fundamental para o processo de planejamento do uso e ocupação do solo na vertente.

Inicialmente, buscou-se, mediante a análise do mapa de Fluxos de Escoamento Superficial, definir setores de alta concentração do fluxo superficial e setores de baixa concentração; para tanto, as classes temáticas inicialmente estabelecidas foram reclassificadas conforme tabela 8, tomando-se como limite de classes o valor de 500m<sup>2</sup>. A escolha de tal limite baseou-se na sobreposição do mapa de Fluxos de Escoamento Superficial com os mapas de Feições Geomorfológicas e de Declividade, e no conhecimento de campo. Observou-se que a concentração dos fluxos acima de 500m<sup>2</sup> coincide com setores de concavidade.

Tabela 8: Avaliação das condições de escoamento

Classes do mapa de Fluxos de Escoamento superficial (m <sup>2</sup> )	Reclassificação
0 - 50	Baixa concentração do escoamento superficial
50 - 100	
100 - 200	
200 - 500	
500 - 1000	Alta concentração do escoamento superficial
1000 - 3000	
3000 - 230.550	

Elaboração: o autor

Na sequência procedeu-se a associação entre as Condições de infiltração e escoamento, que possibilitou as combinações apresentadas na Tabela 9:

Tabela 9: Possibilidades de associações entre condições de infiltração e escoamento.

Condição de infiltração	Concentração de escoamento	
	Baixa (B)	Alta (A)
Baixa (B)	B/B	B/A
Média (M)	M/B	M/A
Alta (A)	A/B	A/A
Muito Alta (MA)	MA/B	M/A
Extremamente Alta (EA)	EA/B	EA/A

Elaboração: o autor

Os resultados desta combinação estão apresentados no mapa de Condições de Infiltração e Escoamento.

## 5.12 Setorização da Vertente para a Definição de Padrões de Ocupação Urbana.

Para definir padrões de uso e ocupação do solo, buscou-se setorizar a vertente conforme as seguintes características:

- comportamento de infiltração/escoamento – foi necessário agrupar áreas com características semelhantes devido ao elevado número de fragmentos de pequena representação espacial que impossibilitaria definir diferentes padrões de ocupação para cada uma delas;
- características a montante e a jusante do setor - para tanto avaliou-se o percurso do escoamento representado no mapa de Fluxos de Escoamento Superficial e a posição na vertente;
- características clinográficas e geomorfológicas representadas respectivamente no mapa de Declividade e mapa de Feições Geomorfológicas;
- áreas de ocorrência de discordância textural.

As APPs, planícies fluviais e a área urbana foram excluídas desta avaliação devido as suas restrições e características.

Para a definição dos padrões urbanos para cada zona, tendo em vista o objetivo de controlar o escoamento superficial decorrente da impermeabilização urbana a partir da manutenção de áreas livres permeáveis no lote, considerou-se as seguintes premissas:

- Nos setores em que coincidem elevadas condições de infiltração e alta concentração de escoamento superficial deve-se privilegiar áreas livres permeáveis nos lotes ou áreas verdes públicas, obedecendo a hierarquia apresentada na Figura 12;

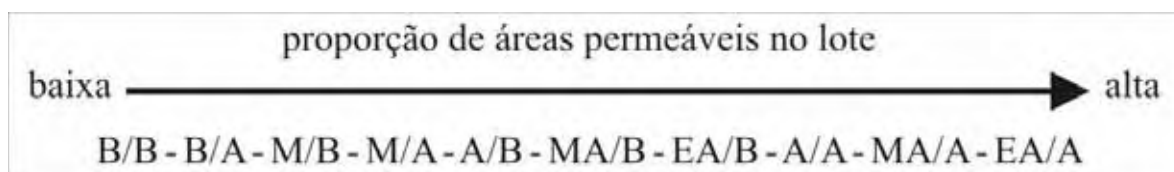


Figura 12: Relação entre as condições de escoamento/infiltração e proporção de áreas permeáveis contínuas previstas para o lote. Elaboração: o autor

- Os setores em que naturalmente a infiltração não é expressiva são propícios a maiores taxas de ocupação do solo, privilegiando-se a ocupação por residências de poucos pavimentos;
- nos setores que apresentam baixa infiltração natural associado à alta concentração do escoamento, deve-se considerar a possibilidade de controle da produção do escoamento nos setores a montante;
- nos setores de discordância textural pode-se prever elevadas taxas de ocupação visto que, mesmo tendo apresentado alta taxa de infiltração, as condições de infiltração ficam prejudicadas e a infiltração propicia movimentos do solo em subsuperfície podendo ocasionar abatimentos no terreno e processos erosivos;
- Para os setores côncavos devem-se prever baixas taxas de ocupação do solo, visto que, mesmo que não apresentem alta concentração de escoamento superficial, caracterizam-se por áreas de convergência das águas pluviais;

Como as zonas foram agrupadas conforme características semelhantes, os padrões de ocupação para cada uma delas foram definidos com base nas características mais restritivas.

### 5.13 Padrões de Uso e Ocupação de Solo

No decorrer desta pesquisa constatou-se falta de dados e materiais bibliográficos a respeito de padrões urbanos no Brasil. Com o propósito de definir padrões de uso e ocupação do solo compatíveis com os princípios da drenagem urbana sustentável, buscou-se analisar os



padrões estabelecidos pelo Projeto de Lei de Zoneamento Urbano de Rio Claro - SP (Projeto de Lei 136/08). Tal projeto de Lei foi elaborado com a participação do Laboratório de Planejamento Municipal do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento – IGCE, UNESP. Tal análise teve por objetivo verificar se os padrões urbanísticos propostos pelo Projeto de Lei condizem com o princípio de verticalizar e liberar solo.

Foram avaliados os padrões urbanos previstos para as Zonas de Uso Residencial e Zonas de Uso Diversificado, propostos pelo Projeto de Lei. Verificou-se para cada projeto, a proporção de área livre de edificação e, o aumento desta mediante a verticalização. A partir desta análise, foram definidos, para cada uma das zonas em que se dividiu a vertente, padrões condizentes com as características naturais avaliadas.

Outras diretrizes de uso e ocupação do solo foram definidas com base na análise das demais características da vertente.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

---

### **6.1 Análise Físico Territorial em Escala de Detalhe para o Planejamento Urbano**

A inter-relação entre planejamento e análise físico-territorial tem se consolidado tomando a bacia hidrográfica enquanto unidade espacial de gestão ambiental e planejamento. No entanto, as leis de zoneamento urbano que utilizam a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento têm dificuldades para inserir a análise do sistema ambiental em todas as escalas do zoneamento. A análise ambiental para o zoneamento, via de regra, contribui para delimitar áreas críticas, especificar problemas, vulnerabilidades do meio físico e biótico, delimitando-se zonas com restrições de uso e ocupação. As demais áreas urbanas, em que não se identifica nenhuma criticidade ou vulnerabilidade iminentes têm os padrões de uso e ocupação do solo definidos mediante critérios sócio-espaciais como: conflitos de usos e atividades, densidade populacional e disponibilidade e organização da infraestrutura urbana.

Na perspectiva da abordagem geossistêmica a vertente, enquanto subsistema da bacia hidrográfica, propicia a análise das variabilidades naturais em escala compatível com a escala em que são definidos os padrões de uso e ocupação do solo urbano. A tabela 10 demonstra os conceitos intrínsecos de um modelo de análise geomorfológica voltada ao zoneamento ambiental, na qual propõem-se escalas sucessivas de análise partindo da bacia hidrográfica chegando ao nível de detalhe propiciado pela vertente.

Tabela 10: Escalas de análise geomorfológica para o Zoneamento Ambiental

Níveis de gestão e planejamento		Unidade paisagística de análise	Conceito	Escala	Vantagens	Classificação do Zoneamento
REGIONAL/ MUNICIPAL		Bacias Hidrográficas (rios de grandes e médias ordens)	Área drenada por um rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto. (Christoflett, 1980)	Regional e/ou Municipal	Visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas.	Áreas urbanas, áreas rurais, aptidão e restrições agrícolas.
URBANO	MACROZONAS	Bacias Hidrográficas (rios pequenas ordens)		Urbana	Orienta as políticas integradas de saneamento ambiental envolvendo recursos hídricos, sistema verde, abastecimento d'água, resíduos sólidos.	Cada Bacia hidrográfica urbana constituirá uma macrozona funcionando como unidade de gestão e conscientização ambiental.
	MESOZONAS	Vertentes		Da Região intra-urbana ao bairro	Unidade espacial compatível com o zoneamento urbano convencional.	Tipos de usos (industrial, comercial, misto, residencial)
	ZONAS	Segmentos das Vertentes	Do Bairro ao Lote	Unidade espacial compatível com a propriedade e com as restrições impostas a esta para cumprimento da Função Social. Permite agregar a avaliação das variáveis naturais na definição de índices urbanísticos.	Padrões de ocupação (TO, C.A.) densidade residencial, Coeficiente de permeabilidade, estruturação urbana; definição da localização de áreas públicas permeáveis.	

(Elaboração: o autor)

É neste contexto que insere-se a análise geomorfológica de detalhe proposta, tomando a vertente como unidade espacial de análise para o planejamento urbano. Esta análise concebe a qualidade ambiental e a prevenção do impacto no sistema hidrológico como elementos essenciais para o cumprimento da função social da propriedade e objetiva estabelecer uma estreita relação entre o particular - a propriedade, o lote, a casa - e o coletivo - a qualidade de vida e ambiental do bairro e da cidade. Na sequência se apresentam os resultados parciais e finais desta proposta para vertente em estudo.

## **6.2 Análise Sistêmica da Vertente para o Planejamento Urbano**

Pautando-se na teoria geossistêmica, buscou-se analisar as relações entre as características de condições de infiltração, escoamento superficial, declividade, discordância erosiva e feições geomorfológicas da vertente em estudo. Porém, é relevante avaliar inicialmente, a representação espacial das variáveis: taxa de infiltração, resistência à penetração, concentração de areia em superfície e declividade que permitiram avaliar as condições de infiltração na vertente. A Figura 13 apresenta os mapas dessas variáveis, com os pesos associados às classes temáticas de acordo com a influência nas condições de infiltração, conforme procedimento descrito previamente. Ressalva-se que, a taxa de infiltração e a resistência à penetração não apresentam unidade de medida e estão representadas como índices, devido ao procedimento de transformação. Na sequência apresenta-se o mapa de Condições de Infiltração (Figura 14) obtido através do cruzamento dessas variáveis. Através da análise desses cinco mapas é possível verificar, para cada região, o comportamento de cada variável e o resultado da integração destas na determinação das condições de infiltração.

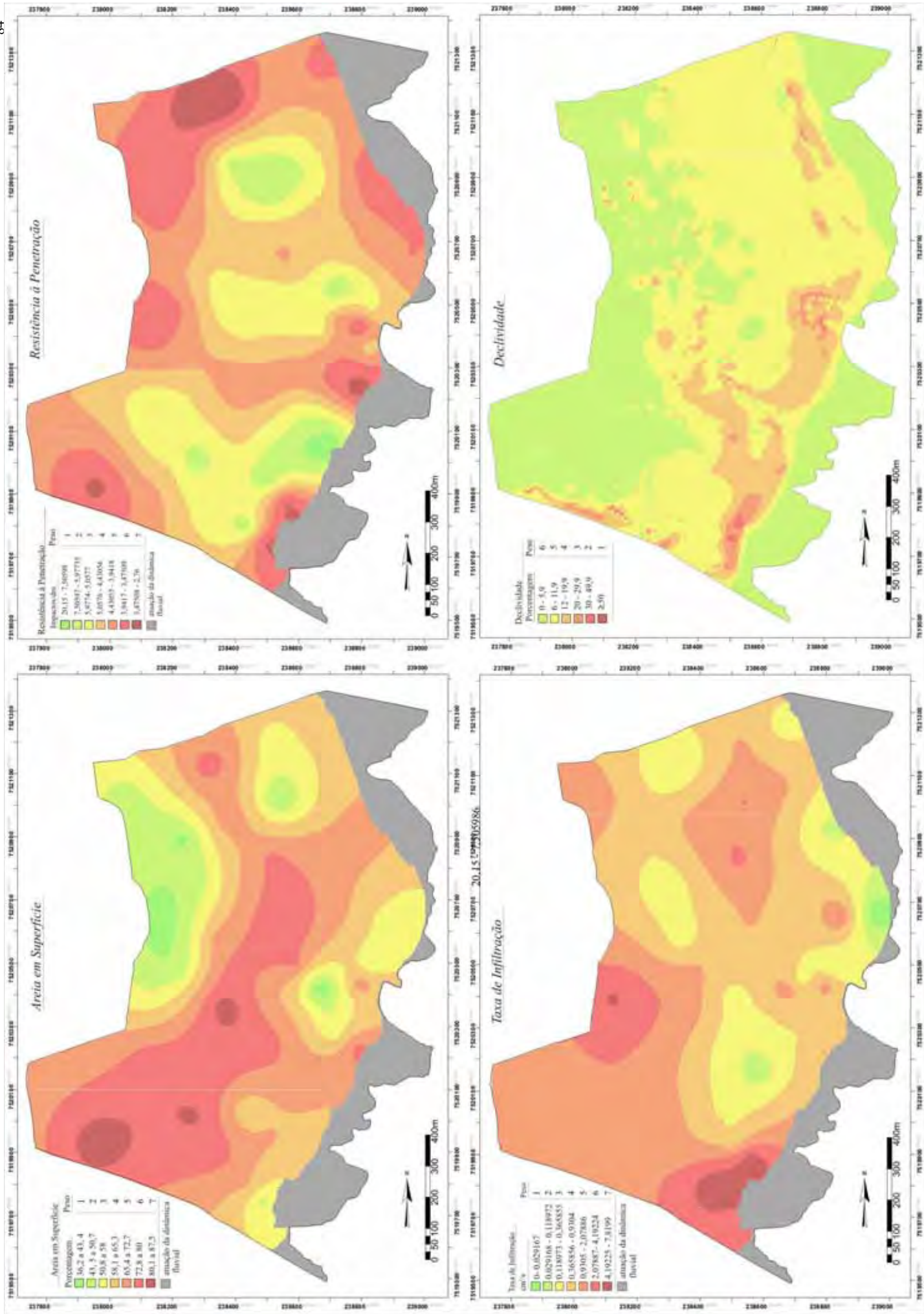


Figura 13: Mapas de Taxa de Infiltração Transformada, Resistência à Penetração Transformada, Concentração de Área em Superfície e Deciduidade, com respectivos pesos associados para avaliação das condições de infiltração.

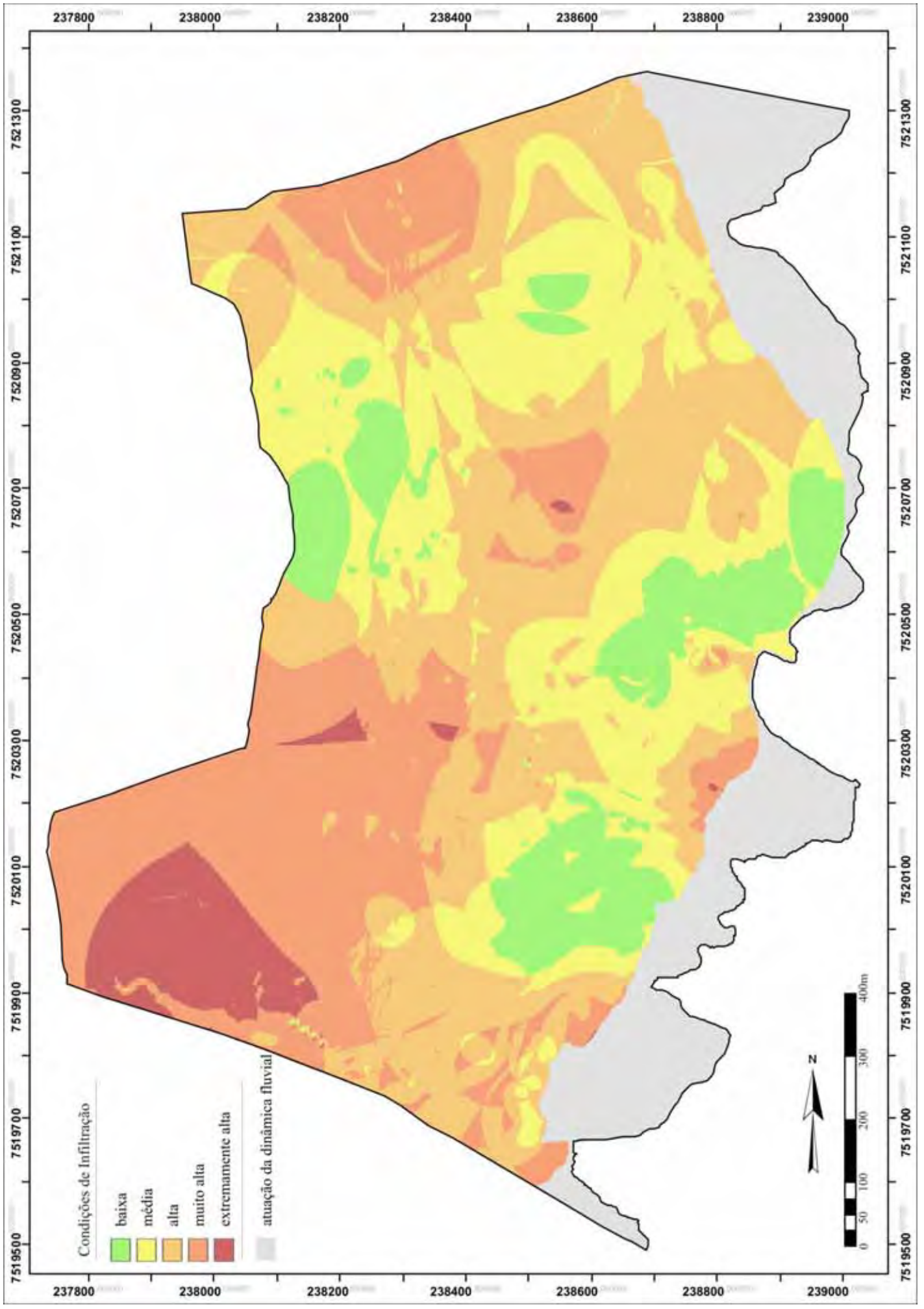


Figura 14: Mapa de Condição de Infiltração

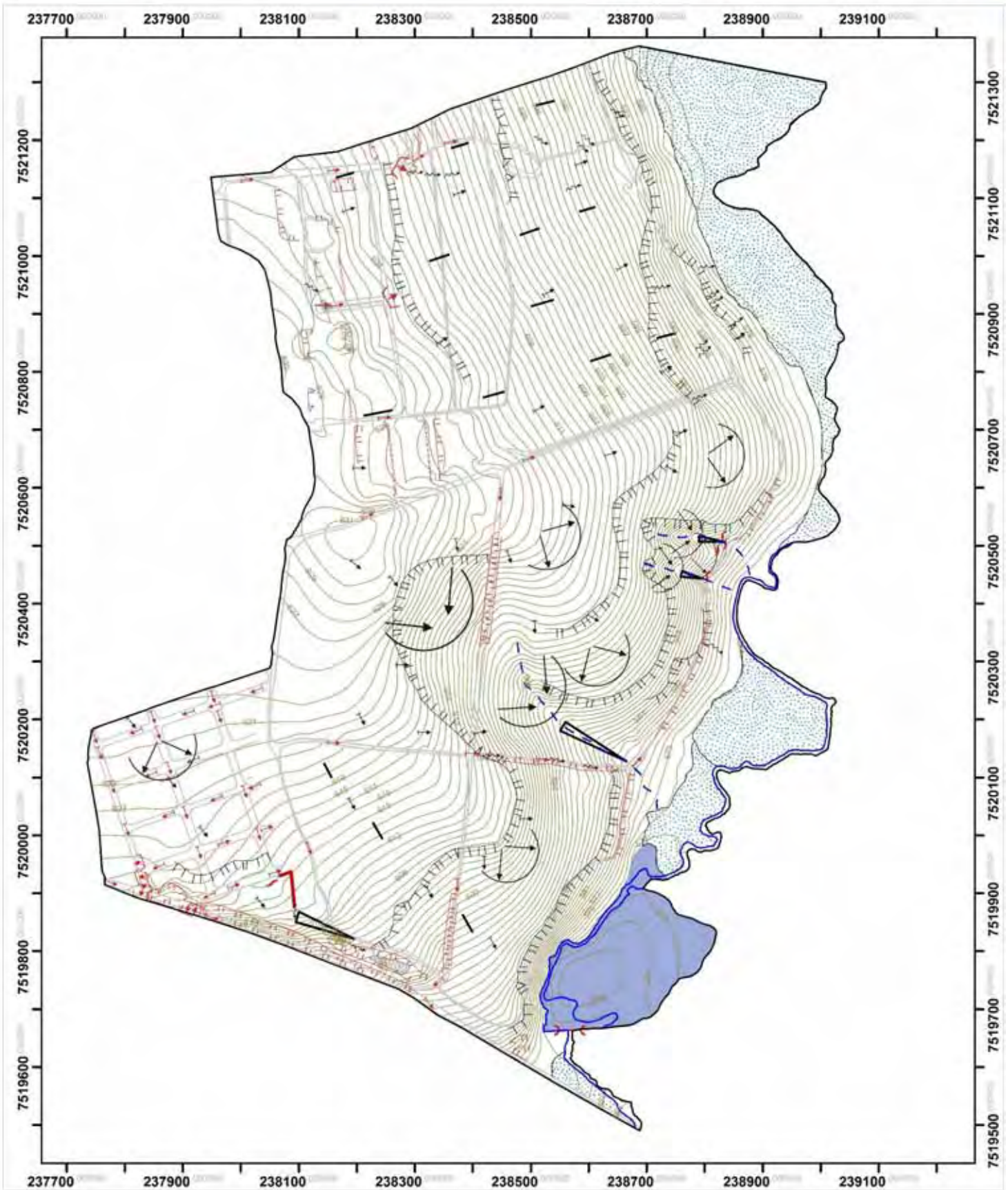
Embora os resultados integrados permitam compreender melhor as condições de infiltração na vertente, a análise dos mapas individualmente possibilita constatar que:

- Quanto a Taxa de Infiltração, predominam valores elevados (acima de  $0,365856 \text{ cm}^3/\text{s}$ , correspondente ao peso 4 das classes temáticas) com pequenos setores apresentando valores baixos. Ressalta-se que os setores com valores de infiltração mais elevados coincidem com ocorrência de vegetação mais densa, com a presença de sub-bosque;
- Quanto a resistência à penetração, pode-se verificar que os setores mais resistentes ocorrem em extensas áreas e, setores de alta vertente mostraram-se menos resistentes à penetração;
- Predominam na vertente baixas declividades (0 – 11,9%). Apenas na porção sul da vertente, nos setores de baixa vertente, verificam-se maiores declividades (12-19,9%) e apenas em setores restritos observou-se declividades acima de 30%;
- Quanto à concentração de areia em superfície, predominam elevados percentuais; para a maior parte da área, os valores classificam-se acima de 65,4%;

Através do mapa de Condições de Infiltração, pode-se constatar que a área ocupada pelas classes “alta”, “muito alta” e “extremamente alta” predomina na vertente em estudo. A classe “baixa” tem menor representatividade espacial, ocorre em setor da baixa vertente ao sul, e algumas pequenas áreas nos setores de topo e média vertente ao norte.

Na sequência apresenta-se o mapa de Feições Geomorfológicas (Figura 15) e o mapa de Fluxos de escoamento (Figura 16). O primeiro permite identificar as formas e, através destas, é possível deduzir os processos predominantes na vertente em estudo. Através do segundo é possível verificar a relação destas formas com a orientação dos fluxos de escoamento. Neste mapa, estão evidenciados os caminhos percorridos pelo escoamento superficial, permitindo verificar quais são as áreas que contribuem para a concentração do escoamento em determinado ponto e avaliar a relação entre determinada área e os setores a montante e a jusante desta.

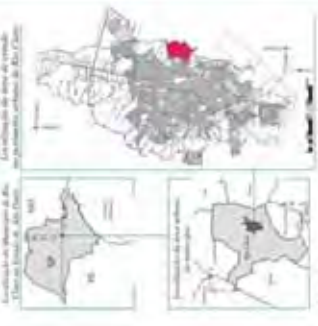
Figura 15: Mapa de Feições Geomorfológicas



Legenda

- Feições Topográficas:**
  - curvas de nível
- Feições morfológicas:**
  - vertente côncava
  - vertente convexa
  - vertente retilínea
  - represa topográfica
  - cumulo topográfico
  - ravina
  - salicão erosivos
  - superfície de acumulação derivada de erosão linear acelerada
- Feições fluviais:**
  - drenagem porose
  - drenagem intermitente
  - planície fluvial
  - represa
- Elementos da morfologia antropogênica:**
  - baragem
  - canalido
  - cunento antipliss
  - nascente aterrada
  - lucro
  - vulsa de drenagem
  - ruptura topográfica por corte
  - canalito desajugem
  - rampa de acesso
  - ruas e caminhos

Mapa de Localização



Escala



Projeto: Universidade Tecnológica de Mato Grosso - UTM, F10021  
 Data: 10/10/2010  
 Autor: [Nome não legível]  
 Planta: [Nome não legível]  
 Arquivo: [Nome não legível]  
 Amostragem: 1995, BASE S.A. 1:25000  
 (9.10°N 51.32, 51.34, 51.36, PAU S 31, 32, 33, 34, 35)  
 Fontes: CAPEL



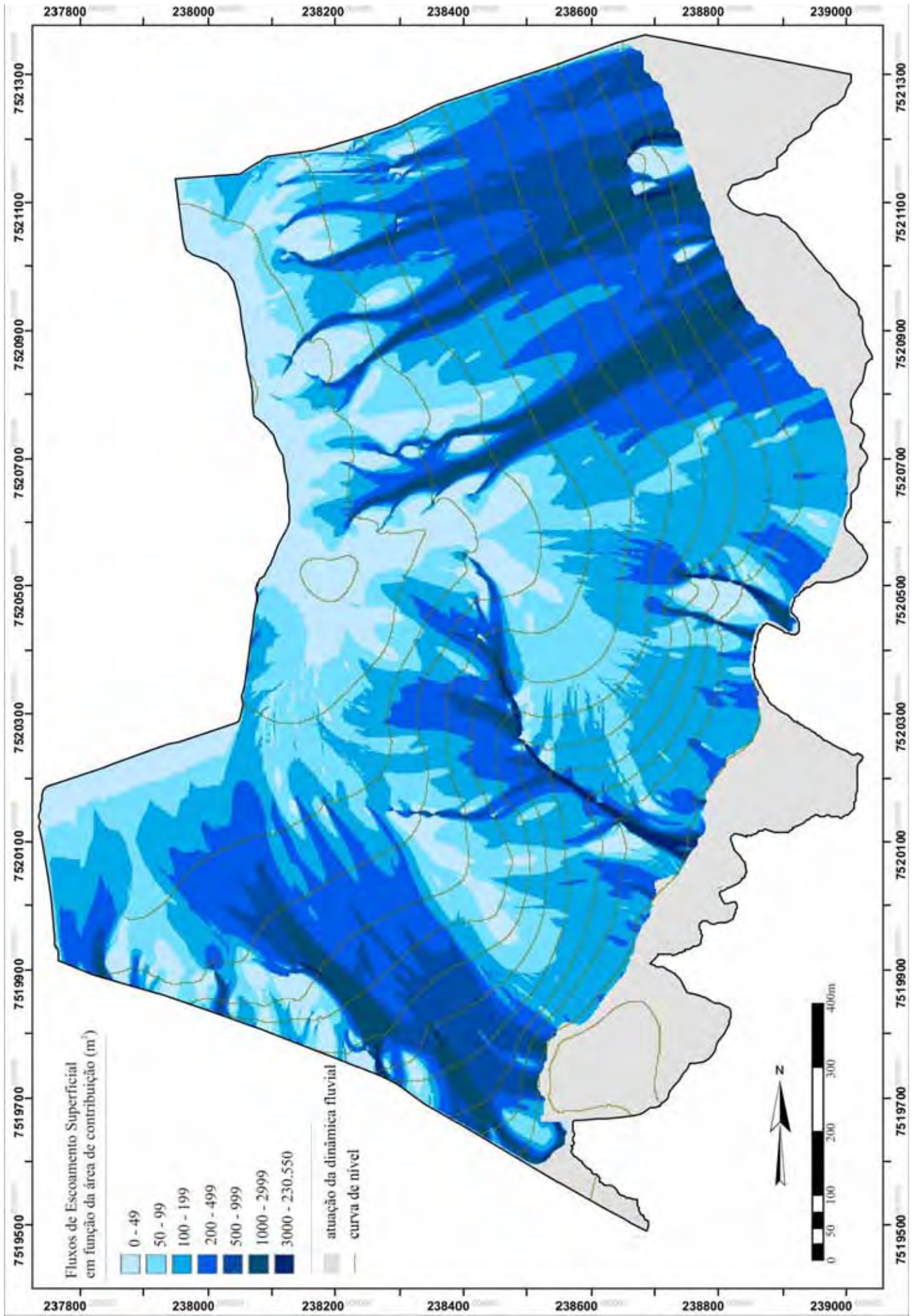


Figura 16: Fluxos de Escoamento Superficial

Através do mapa de Feições geomorfológicas é possível constatar que a vertente, aqui compreendida em seu sentido *latu sensu*, pode ser inicialmente segmentada em dois setores: um localizado ao norte, ocupado pelo campus da UNESP, com predominância de formas retilíneas com face voltada a nordeste e um setor ao sul, ocupado por vegetação de Eucalipto da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade - FEENA onde há uma maior variabilidade das formas, com ocorrência de setores retilíneos e convexos no topo e algumas concavidades e convexidades na média e baixa vertente, com face voltada predominantemente a sudeste. (Figura 17)



Figura 17: Setor sul (esquerda) e setor norte (direita) da vertente.

(Fotos: Barbosa, C. 04/2009)

Nos setores ao norte em que predominam a retinidade das formas foram identificadas rupturas topográficas pouco expressivas e alguns sulcos erosivos relacionados principalmente à intervenção antrópica, como orientação de arruamentos, canaletas de drenagem pluvial que não estão canalizadas até o fundo do vale, cortes e rampas de aterros. Estas características das formas, determinam uma alta concentração de fluxos de escoamento superficial desde os setores da alta vertente. Nos setores da média e baixa vertente, onde não há um canal que o conduza, o escoamento superficial concentrado ocupa uma área expressiva. Esta mesma característica pode ser observada próximo ao limite da área de estudo, bem ao sul, onde também predominam formas retilíneas.

Embora a vertente apresente uma ocupação incipiente, há inúmeras alterações na forma do relevo decorrentes da intervenção antrópicas que interferem nos processos atuantes nesta. Dentre estes, é possível destacar especialmente os caminhos, cortes de aterros e arruamentos, que concentram e direcionam os fluxos de escoamento superficial, contribuindo

para o desencadeamento de processos erosivos. Através do mapa de Fluxos de Escoamento Superficial é possível verificar que, especialmente nas áreas ao norte, ocupadas pelas dependências da Unesp, estas feições determinam a concentração do escoamento superficial já na alta vertente. Nestes mesmos setores coincidem baixas condições de infiltração, características que permitem identificar a área como de alta produção de escoamento superficial.

Outros fatores que podem ser atribuídos à concentração do escoamento são o comprimento de rampa, que, em setores retilíneos são maiores, e a declividade. Constatou-se, através da correlação entre o mapa de Declividade e o mapa de Fluxos de Escoamento superficial que a concentração do fluxo ocorre, em grande parte, em setores com declividade acima de 6%, coincidindo com a transição do setor de topo para o declive (vertente *latu sensu*).

O setor de topo, localizado a sudoeste, é caracterizado por intensa urbanização. O sistema de drenagem pluvial, implantado nesta área é feito, via de regra, em superfície, através do próprio arruamento, com apenas alguns bueiros captando o volume de água drenado de grande parte desta área urbana. Tais bueiros podem ser observados no setor sudoeste do topo da vertente. No entanto, nem toda a água de superfície é drenada para este sistema de captação; parte do escoamento pluvial é carregado para o setor sudeste da área urbana devido à inclinação do arruamento onde é lançado em uma canaleta aberta que conduz as águas às bordas da área urbana, sendo liberada diretamente sobre o solo, sem nenhuma medida para quebrar a energia. Observou-se, no decorrer da pesquisa, que neste setor ocorriam sulcos erosivos e que progrediram para uma ravina (Figura 18). No mapa de Fluxos de Escoamento verifica-se que não ocorrem nesta área, elevados valores para escoamento superficial, no entanto, nas proximidades deste setor é possível verificar que o escoamento é concentrado. Mediante o mapa de Feições Geomorfológicas pode-se observar que o arruamento também direciona do fluxo concentrado para o setor da ravina. Um pouco abaixo da ravina, onde há um corte de aterro com desnível de cerca de 2 metros (que aparentemente caracteriza-se como uma área de empréstimo de material) pode-se observar uma acumulação dos materiais que foram carregados durante evento erosivo (denominada, “superfície de acumulação derivada de erosão linear” e identificada no mapa de Feições Geomorfológicas). Quanto às condições de Infiltração, este setor apresenta ótimas características, inserindo-se nas classes: muito alta e extremamente alta.

Pelo mapa de Declividade identifica-se neste setor declividade entre 12 – 19% e entre 3 – 29% associadas às feições antrópicas como cortes de aterros e arruamentos. Na área da ravina a declividade é superior a 30%.



Figura 18: Ravina desencadeada pela concentração do escoamento superficial urbano.  
(Foto: Barbosa, C. - janeiro, 2010)

Na porção sul, na alta vertente, predominam boas condições de infiltração (classe “muito alta” e “alta”) e uma baixa concentração de escoamento, associada às formas convexas e retilíneas (exceção das áreas próximas ao limite da área de estudo onde se desenvolveu a ravina mencionada anteriormente). Na média e baixa vertente, onde alternam-se concavidades e convexidades, observa-se que os fluxos de escoamento superficial são divididos e concentram-se apenas nos setores. Quanto às condições de infiltração, observa-se que nestes setores, a partir da média vertente predominam as classes: média e baixa. O setor extremo sul, onde a vertente apresenta forma retilínea difere-se destas áreas, pois apresenta uma ampla área com elevados valores para escoamento superficial e condições de infiltração alta.

Na Figura 19 observa-se a concentração do escoamento superficial em uma das concavidades da área, configurando-se como um canal temporário.



Figura 19: Curso d'água temporário. Fotos tiradas nos dias 10/03/2009 (esquerda) e 11/03/2009 (direita). Entre o dia 10 e o dia 11 foram registrados pela estação meteorológica de Rio Claro 47 mm de chuva (2º maior volume diário do 1º semestre de 2009). (Foto: Barbosa, C. 03/2009)

Destacam-se três concavidades que apresentam ravinas localizadas em setores de maior declividade. As duas concavidades que se localizam ao norte apresentam intervenções para controle erosivo, como camaleões para quebra de energia da água e plantação de bambu nas suas bordas superiores.

A ocorrência destas ravinas está, supostamente, associada à variação da cobertura pedológica. Estas se desenvolvem na transição entre Latossolos - predominantes nos setores de topos - para Argissolos que predominam na média e baixa vertente, em setores com maior declividade. Nos Argissolos, a discordância erosiva entre os horizontes A e B respondem pela alta incidência de erosões lineares em vários outros pontos do município. A observação da figura 20, em que estão representados os pontos de discordância textural da vertente, corrobora com esta interpretação, uma vez que, as concavidades coincidem com alguns registros de discordância textural. Observa-se também que há relação entre a ocorrência de discordância textural e as áreas de maior declividade.

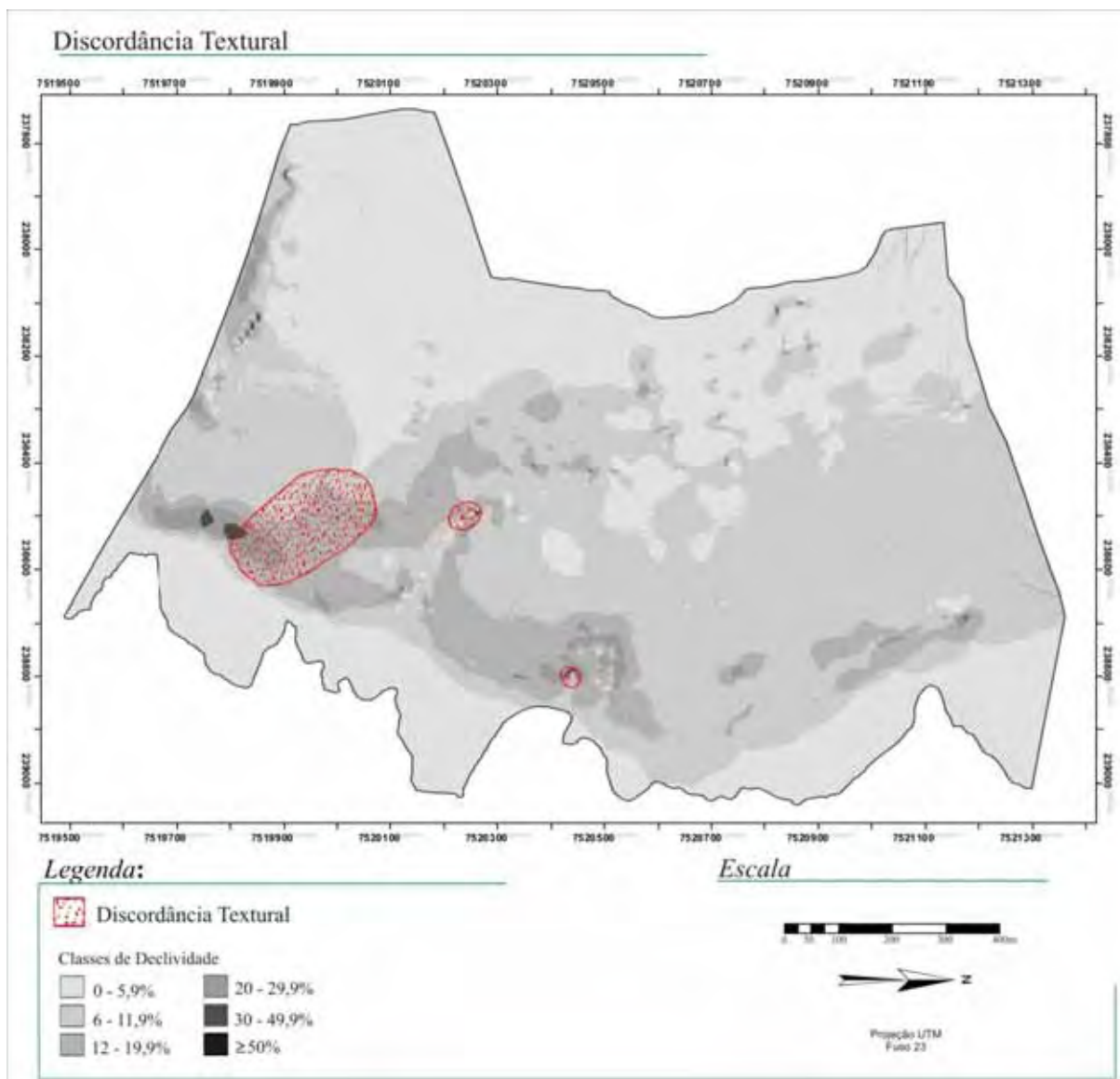


Figura 20: Setores de ocorrência de discordância Textural.

Ainda mediante a análise da figura 20, constata-se que a maior área com ocorrência de discordância textural apresenta forma convexa. Observa-se também, que com esta área coincide um setor de maior declividade (superior a 12%). Quanto às características de infiltração, predominam as classes: baixa e média. Tais características de escoamento e infiltração minimizam a susceptibilidade erosiva da área, pois nestes solos tanto o escoamento concentrado quanto a alta infiltração (através de movimentos de subsuperfície) contribuem para desencadear processos erosivos.

É importante considerar também que, nas áreas de discordância textural, as condições de infiltração ficam prejudicadas devido à estratificação das camadas do solo. A mudança para uma textura diversa do material subjacente resulta em diferenças de condutividade da

água em profundidade e dificulta os rápidos movimentos descentes (BUCKMAN; BRADY, 1968). Tendo em vista que o mapa de Condições de Infiltração baseou-se na avaliação das características das camadas superficiais do solo, é importante considerar que, mesmo que estas áreas tenham apresentado boas condições de infiltração, esse comportamento ocorre apenas nas camadas superficiais. Desta forma, considera-se que nestes setores, a impermeabilização, em razão da urbanização, não constitui expressiva alteração nas condições de vazão natural e pode contribuir para minimizar os movimentos em sub-superfície, que desencadeiam processos erosivos.

O fundo de vale do ribeirão Claro, no setor, é caracterizado por planícies aluviais expressivas. O canal apresenta característica meandrante com ocorrência de meandros abandonados. Dentre as alterações antrópicas no fundo de vale, destaca-se a barragem do ribeirão Claro onde é captada água pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto - DAAE para abastecimento urbano do município. O efeito de remanso provocado pela barragem é observado pela permanência das águas fluviais em áreas de antiga ocupação sazonal como planícies aluviais e meandros abandonados. A diminuição da capacidade de carga decorrente da quebra de energia provocada pelo represamento, associada a processos erosivos a montante da represa, tem contribuído para a sedimentação do ribeirão, com formação de bancos de areia em alguns setores. No setor norte do ribeirão Claro é difícil delimitar com precisão o canal fluvial, uma vez que há afloramento de inúmeros olhos d'água e o curso d'água principal divide-se em inúmeros braços, com pouca profundidade, que perdem-se entre a vegetação arbustiva densa (Figura 21).



Figura 21: Curso fluvial (esquerda) e afloramentos no fundo de vale da vertente (centro e direita). (Fotos: Barbosa, C. 04/2009)

Desta forma, pode-se constatar que a vertente em estudo, apresenta de maneira genérica, dois setores bastante distintos quanto às formas e processos atuantes. Embora no setor ao norte a intervenção antrópica seja relativamente mais intensa, pode-se concluir que a forma predominantemente retilínea e as menores declividades na baixa vertente, conferem à

área menor suscetibilidade aos efeitos adversos das intervenções antrópicas, ao mesmo tempo em que propicia uma ocupação mais harmônica, sem necessidade de grandes alterações das formas naturais. O mesmo não acontece nos setores ao sul, em que, embora a ocupação antrópica representada pelo reflorestamento da FEENA seja, a princípio, menos impactante, apresenta maior susceptibilidade natural à intervenção antrópica. A ocupação antrópica visivelmente demanda maiores alterações do relevo para uma eventual ocupação. Os arruamentos e caminhos são indícios desta diferença, uma vez que nos setores retilíneos não há necessidade de cortes e aterros para a implantação destes, enquanto no setor de maior irregularidade das formas e maior declividade foram necessários cortes topográficos para implantação dos arruamentos. No entanto, os setores côncavos que concentram escoamento superficial e ravinamentos não são passíveis de serem urbanizados por classificarem-se como APPs. Portanto constata-se que os setores retilíneos relembram maior atenção no processo de controle e quebra da energia do escoamento superficial, por ocasião de uma ocupação urbana.

Também pode-se inferir, com base na avaliação das condições de infiltração natural, que devido ao predomínio de altas condições de infiltração (classes “alta”, “muito alta” e “extremamente alta”) a vertente em estudo, quando urbanizada nos moldes tradicionais, produzirá alterações significativas no seu hidrograma natural acarretando antecipação da vazão de pico. Considera-se também que os setores em que naturalmente não ocorrem boas condições de infiltração, a ocupação urbana produzirá alterações menos significativas no hidrograma natural, quando comparadas aos setores que, naturalmente, tem boa infiltração. Com o intuito de aprofundar na interpretação das condições de infiltração e escoamento na vertente em estudo procedeu-se a elaboração do mapa de Condições de Infiltração e Escoamento cuja sistematização de elaboração foi descrita no item 5.11 (figura 22).



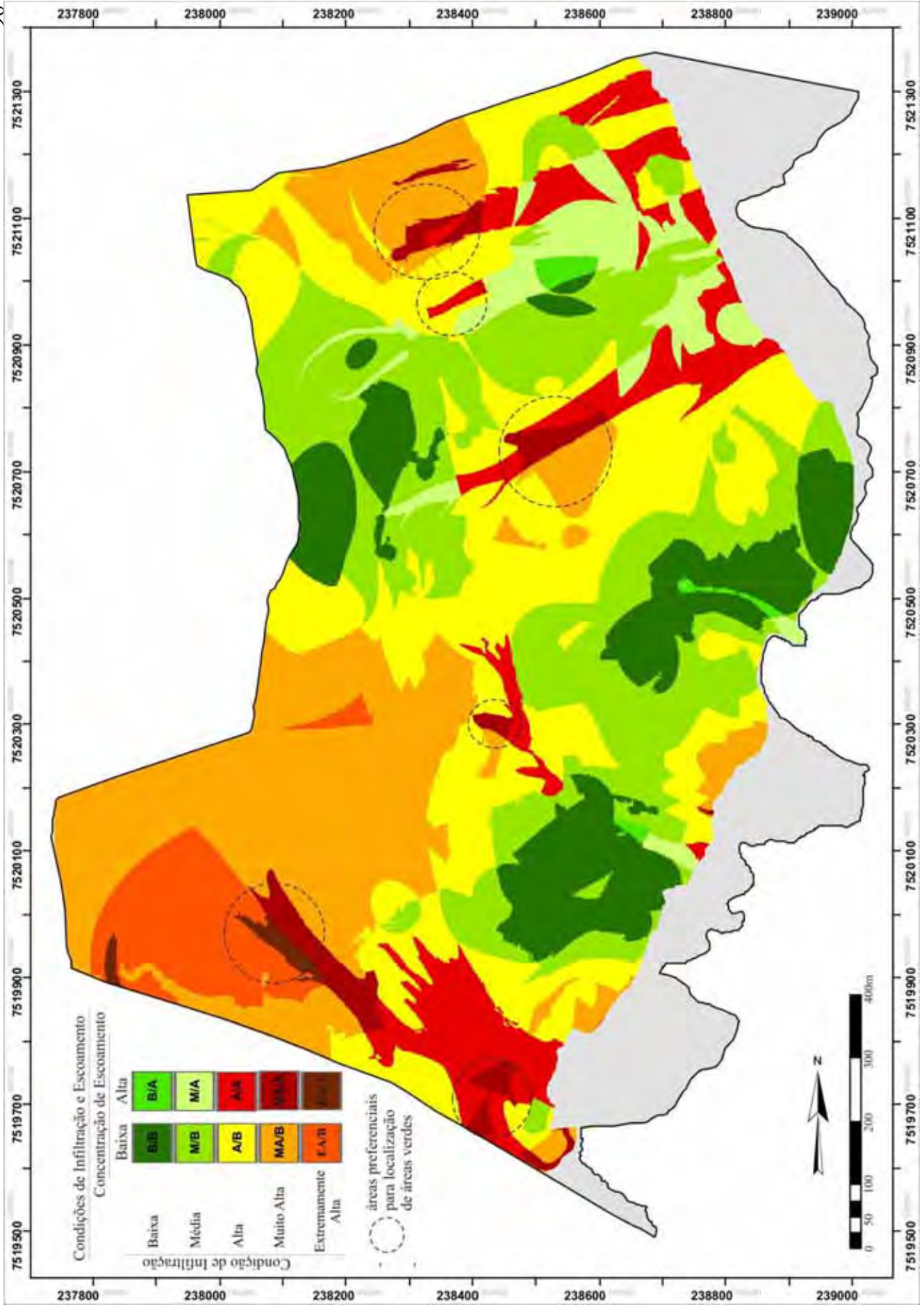


Figura 22: Mapa de Condições de Escoamento e Infiltração

Os inúmeros fragmentos com pequena expressão espacial do mapa constata a relevância da análise detalhada das características naturais para o Planejamento.

Através deste mapa é possível identificar setores propícios a manutenção de áreas permeáveis (onde há boas condições de infiltração ou concentração do escoamento). São estes os setores classificados como EA/A, MA/A e A/A,EA/B, MA/B e A/B. Nos setores em que as condições naturais de infiltração não são boas, é necessária a adoção de outros dispositivos para retardar o fluxo do escoamento superficial (B/A, B/B, M/A, M/B).

No Projeto de Lei de Parcelamento do solo para fins urbanos do Município de Rio Claro (PL 072/08) que se encontra em processo de aprovação na câmara municipal, prevê em seu artigo 11, que as áreas verdes, sistemas de lazer e áreas institucionais deverão estar situadas dentre os lugares de menor declividade, devem ser contíguas e próximas ao centro do loteamento. Considera-se que esta diretriz urbana pode restringir as possibilidades de utilizar as áreas de lazer a favor da gestão do escoamento superficial urbano e da prevenção das enchentes urbanas. O presente trabalho defende proposta diferenciada, ao sugerir que as áreas verdes públicas devem situar-se nos setores com maior potencialidade de contribuição para a gestão do risco das enchentes urbanas: as áreas com boas condições de infiltração e concentração de escoamento e os setores paralelos às APPs. Desta forma, considera-se que setores que apresentam elevadas condições de infiltração associados à concentração de escoamento superficial são os mais propícios a implantação de áreas verdes urbanas que associem uma função ambiental, no contexto da gestão da drenagem urbana, e uma função de lazer. Os setores que, embora não apresentem condições de infiltração muito elevadas, encontram-se cercados por escoamento concentrado, também são áreas propícias à alocação destas, sendo necessário, no entanto a implantação de dispositivos ou mecanismos que assegurem o retardamento dos fluxos e propiciem o aumento das condições de infiltração, como por exemplo, densa arborização. Estas áreas encontram-se identificadas na figura 22.

### **6.3 Restrições Legais**

No mapa de Restrições Legais (Figura 23) estão representadas as áreas que não são passíveis de urbanização ou que requerem condições específicas para tanto. Observa-se que significativa extensão da vertente apresenta restrições a ocupação urbana. São os setores ocupados pelas planícies fluviais, cursos d'água, APPs e "áreas não edificáveis". Diante dos

objetivos propostos por este trabalho, considera-se que a ampla faixa formada especialmente pela junção das APPs (30m) e da “área não edificável” (15 m) contribui para a gestão do risco relacionado a enchentes urbanas.

A preservação dos fundos de vale em áreas urbanas é um assunto bastante controverso devido à contradição entre o Código Florestal (LEI 4771/1965) e a Lei de Parcelamento de Solo Urbano (LEI 6766/1979). Numa primeira redação do Código Florestal, que vigorou entre 1965 a 1989, a delimitação prática das faixas de preservação desconsiderava a sazonalidade dos cursos d’água que têm suas lâminas d’água ampliadas no verão, possibilitando a ocupação das planícies aluviais. Em 1989, buscou-se, através de emendas da Lei 7803/1989, considerar a flutuação da lâmina d’água dos rios. De acordo com tal redação, devem ser consideradas APPs, a vegetação natural situada ao longo dos cursos d’água desde seu “nível mais alto em faixa marginal”. Portanto a faixa de preservação deve ser contada a partir do limite externo da planície fluvial. No entanto, a expressão “nível mais alto em faixa marginal” não garantiu a delimitação satisfatória do leito dos rios, prejudicando a determinação da largura da APP, bem como de seu limite interno (junto ao curso d’água). Tais delimitações consideram, geralmente, somente o leito menor, por ser bem definido devido à ausência de vegetação. Desta forma, acaba-se por delimitar como APP, a planície fluvial. Outro fator que corrobora com a ocupação destas áreas deve-se ao fato de que a Lei de Parcelamento de Solo Urbano, em seu artigo 3º, prevê a possibilidade de urbanização em terrenos alagadiços desde que tomadas as providências para escoamento das águas. Desta forma, enfatiza-se a necessidade de que as APPs sejam alocadas paralelas às planícies aluviais para garantir que esta vegetação contribua com a gestão dos riscos das enchentes urbanas. Ressalta-se também a relevância de delimitar as “áreas não edificáveis”, paralelas as APPs, ampliando a faixa livre de edificações nos fundos de vale e garantindo que os equipamentos urbanos públicos (equipamentos públicos de abastecimento de água, serviços de esgotos, energia elétrica, coletas de águas pluviais, rede telefônica e gás canalizado, obras sanitárias) não tenham que ser alocadas nas APPs. Além disso, contribuem para caracterizar o fundo de vale como uma área de baixa ocupação residencial e populacional, contribuindo para a gestão dos riscos de enchentes.

Os setores que apresentaram discordância erosiva associada à concavidades e ravinas também estão inseridas nas APPs, enfatizando a relevância de preservação destes setores.

Verificou-se que a declividade maior que 30% ocorre em setores muito restritos, e coincide com áreas delimitadas como APPs. Destaca-se a pequena área ao sul, próxima ao setor urbanizado, que coincide com a ocorrência a ravina localizada à sudoeste, identificada no mapa de Feições Geomorfológicas, impondo, portanto restrições a ocupação urbana.

O Plano Diretor de Rio Claro (LEI 3806/2007) prevê que, nos setores com declividade acima de 15% as quadras deverão seguir as curvas de nível alterando-se de forma que as vias que seguem o sentido do declive não sejam contínuas. O objetivo desta proposta é atenuar a energia do escoamento superficial. No entanto, pode-se constatar, pela comparação entre o mapa de Restrições Legais e o mapa de Fluxos de Escoamento Superficial, a concentração do escoamento não coincide apenas com os setores de maior declividade. A avaliação do mapa de Escoamento Superficial com o mapa de Declividade permitiu verificar que, de maneira geral, o fluxo começa a concentrar-se onde termina o topo (seção plana) e inicia-se o declive (vertente *strictu sensu*). Este setor coincide com a classe de declividade maior que 6%. Portanto, acredita-se que a quebra da energia do escoamento superficial deva iniciar-se nestes setores.

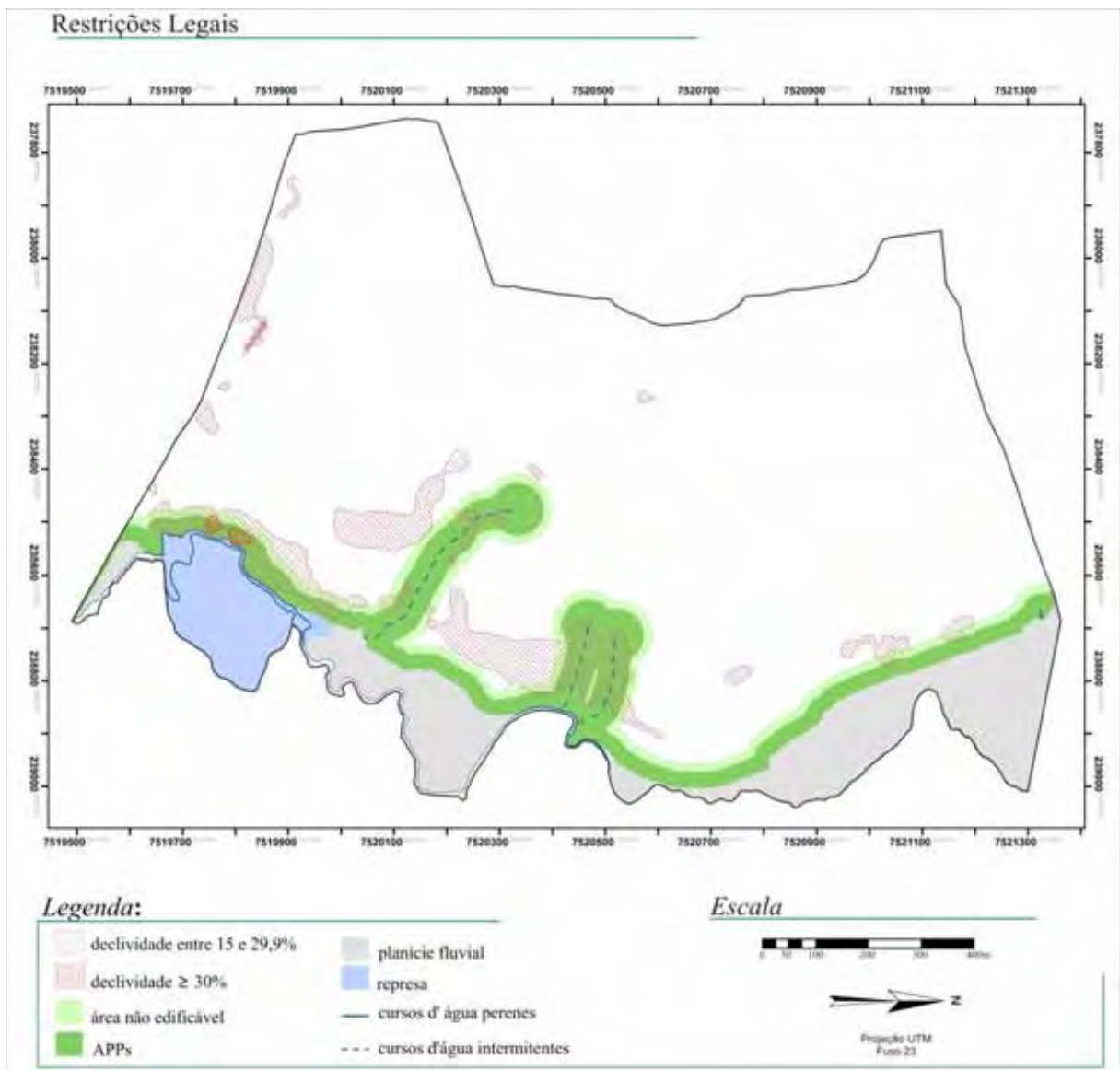


Figura 23: Mapa de Restrições Legais

## 6.4 Avaliação de Padrões de Uso e Ocupação do Solo

A análise dos padrões previstos pelo Projeto de Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo de Rio Claro (PL 146/08) revelou índices urbanísticos compatíveis com a proposta do presente trabalho, uma vez que, a referida lei baseia-se em modelos que propõem menores Taxas de Ocupação - TO e Coeficiente de Aproveitamento - CA viabilizando um modelo de verticalização que possibilite o aumento de áreas livres no lote.

A tabela 11 apresenta a proporção entre as Áreas Livres (AL) e as Áreas de Projeção da Edificação (AE) para os diferentes padrões propostos para usos residenciais ou comerciais e serviços. A sigla LM, refere-se ao Lote Mínimo exigido, tendo como unidade de medida o m<sup>2</sup>.

Tabela 11: Área Livre e Área de Projeção das Edificações para diferentes padrões de ocupação do solo PL 146/08.

número de pavimentos	Padrões de uso e ocupação do solo															
	LM:160		LM: 250		LM: 300		LM: 300		LM: 500		LM:1000		LM: 500		LM:1000	
	TO: 70		TO: 70		TO: 60		TO: 70		TO: 60		TO: 40		TO: 70		TO: 70	
CA:1,4		CA:1,4		CA:1,4		CA:1,4		CA:1,4		CA: 1,4		CA:1,4		CA: 1,4		
	AE	AL	AE	AL	AE	AL	AE	AL	AE	AL	AE	AL	AE	AL	AE	AL
1	112	48	175	75	180	120	210	90	300	200	400	600	350	150	700	300
2	112	48	175	75	180	120	210	90	300	200	400	600	350	150	700	300
3	75	85	117	133	140	160	140	160	233	267	400	600	233	267	467	533
4	56	104	88	163	105	195	105	195	175	325	350	650	175	325	350	650
5	45	115	70	180	84	216	84	216	140	360	280	720	140	360	280	720
6	37	123	58	192	70	230	70	230	117	383	233	767	117	383	233	767
7	32	128	50	200	60	240	60	240	100	400	200	800	100	400	200	800
8	28	132	44	206	53	248	53	248	88	412	175	825	88	412	175	825

Elaboração: o autor

Constata-se que, o número máximo de pavimentos possíveis é controlado pelo CA e pelo tamanho do lote. Nos lotes maiores é possível modelos de verticalização com maior número de pavimentos, enquanto que, em lotes menores, devido à diminuição da área de projeção da edificação com o aumento do número de pavimentos, o projeto torna-se inviável, sendo necessário recorrer a lotes maiores.

Verificou-se que os CAs e TOs adotados privilegiam uma verticalização menos densa, e, condizem com a concepção de verticalizar para liberar solo, evita prédios demasiadamente altos e uma elevada densidade populacional, que poderiam acarretar sobrecarga da infraestrutura urbana.

A tabela 12 apresenta o resultado em percentuais de áreas livres de edificações nos lotes, para as diferentes diretrizes com número de pavimentos variando de 1 – 8.

Observou-se que a proporção de áreas livres nos lotes, e conseqüentemente nas quadras, aumenta à medida que aumenta o número de pavimentos e independe do tamanho do lote. É controlada especialmente pela TO para os primeiros pavimentos e a partir de determinado número de pavimentos passa a ser controlado pelo CA. Embora para diferentes tamanhos de lotes, com o mesmo CA e TO, o percentual de área livre seja o mesmo, nos lotes menores estas áreas encontram-se fragmentadas, tanto entre os lotes, quanto dentro do próprio lote, divididos entre os recuos necessários. A excessiva fragmentação inviabiliza a implantação e prejudica a eficiência de áreas permeáveis. Desta forma considera-se que quanto maior o lote, melhor será a eficiência das áreas permeáveis.

Tabela12: Percentual de áreas livres de edificações nos lotes/quadras

Número de pavimentos	Percentual de área livre de edificações nos lotes/quadras							
	LM:160 TO: 70 CA:1,4	LM: 250 TO: 70 CA:1,4	LM: 300 TO: 60 CA:1,4	LM: 300 TO: 70 CA:1,4	LM: 500 TO: 60 CA:1,4	LM:1000 TO: 40 CA: 1,4	LM: 500 TO: 70 CA:1,4	LM:1000 TO: 70 CA: 1,4
1	30	30	40	30	40	60	30	30
2	30	30	40	30	40	60	30	30
3	53	53	53	53	53	60	53	53
4	65	65	65	65	65	65	65	65
5	72	72	72	72	72	72	72	72
6	77	77	77	77	77	77	77	77
7	80	80	80	80	80	80	80	80
8	83	83	83	83	83	83	83	83

Elaboração: o autor

Os padrões urbanísticos baseados em lotes pequenos determinam quadras urbanas com menores dimensões, o que conseqüentemente reflete nas proporções do sistema viário em relação à área dos lotes. Os lotes de 160 m<sup>2</sup>, por exemplo, via de regra requerem testada mínima de 8 m e, portanto apresentam fundo de 20 m, propiciando quadras com largura de apenas 40 m, enquanto lotes de 300m<sup>2</sup>, requerem testada mínima de 10m e fundo de 30m propiciando quadras de 60 m de largura.

Os padrões urbanos propostos pela Lei de Zoneamento serviram de referencial para a determinação dos padrões de cada zona delimitada na vertente.

## 6.5 Diretrizes de Urbanização Embasadas nas Características da Vertente.

Com base na análise das características de infiltração, escoamento, geomorfológicas, pedológicas e clinográficas, dividiu-se a vertente em 13 zonas ambientais para o planejamento urbano que foram denominadas pelos números de 1 a 13 (Figura 24).

As zonas foram delimitadas de forma a agrupar setores com características semelhantes de escoamento e infiltração e, seus limites foram posteriormente redefinidos com base na avaliação das demais características geomorfológicas, pedológicas e clinográficas identificadas. Através do mapa, é possível avaliar a hierarquia entre as zonas quanto à disponibilidade de áreas permeáveis contínuas (ou seja, com menos fragmentação entre os lotes e, portanto maior potencialidade para o controle da produção do escoamento).

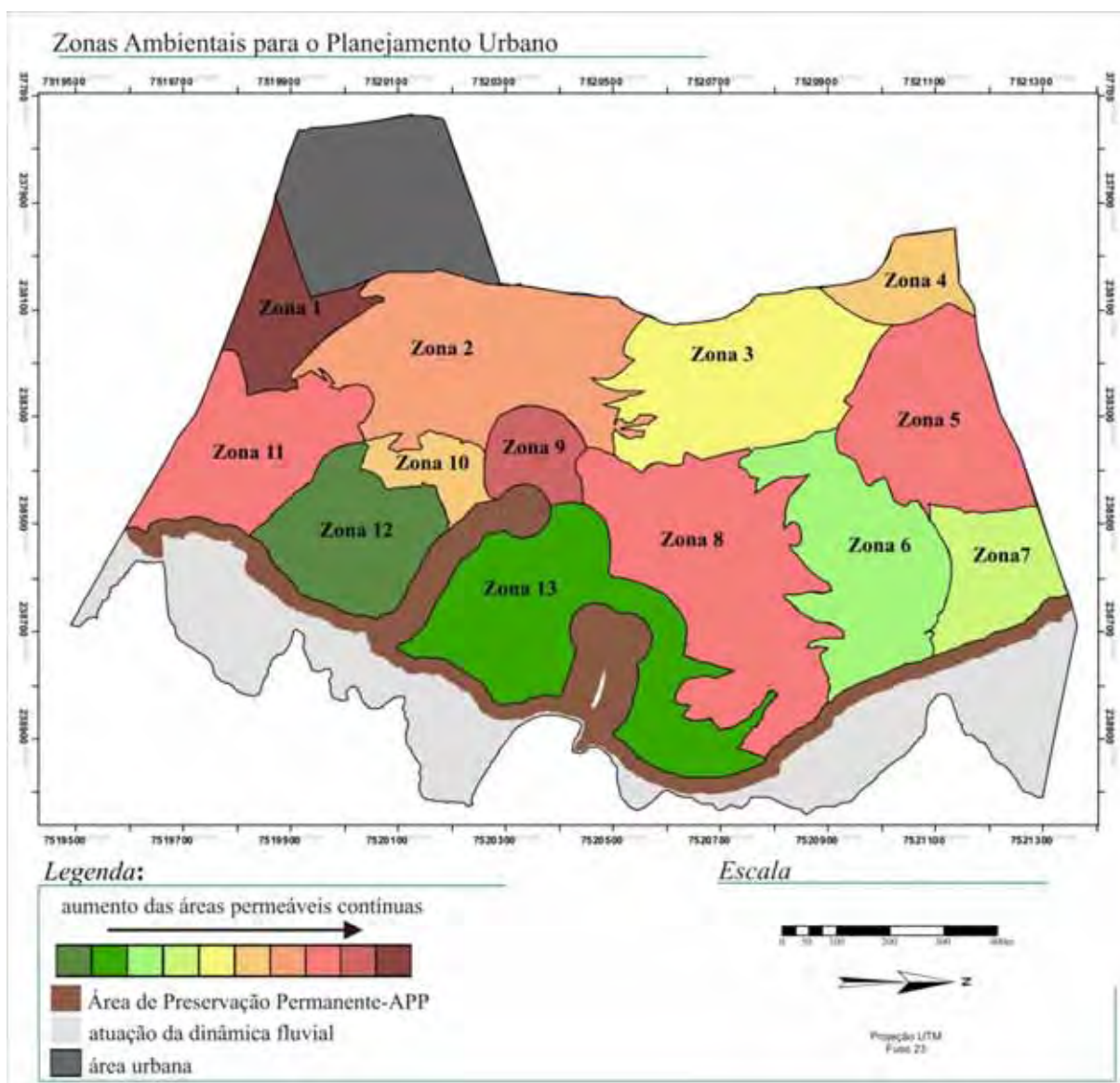


Figura 24 – Zonas Ambientais para o Planejamento Urbano.

A tabela 13 apresenta as características avaliadas no procedimento de delimitação das zonas e os padrões urbanísticos definidos, com base nestas características, para cada uma delas. Para compreensão das diretrizes urbanas propostas definem-se as seguintes expressões:

- Taxa de Ocupação - TO: é a relação entre a projeção da edificação - AP e a área total do lote - AT. Expressa em porcentagem conforme a fórmula:  $TO = AP/AT \times 100$ ;
- Coeficiente de Aproveitamento - CA: é a relação entre a área edificada total - AE (em um ou vários pavimentos) e a área total do terreno - AT, determinada conforme a fórmula:  $CA = AE/AT$ ;
- Gabarito - G: é a altura máxima permitida para a edificação, medida do nível do lote até o ponto mais alto, expressa em metros;
- Taxa de Permeabilidade - TP: é a relação entre a área permeável, que propicie infiltração das águas fluviais do lote ou da gleba, e a área total livre de edificações;
- Área livre de edificações: área que não é passível de ser ocupada pela projeção das edificações. Varia conforme projeto, de acordo com a TO e CA;
- Lote Mínimo - LM: define a área do lote permitido.



Tabela 13: Diretrizes de uso e ocupação baseado nas características hidrogeomorfológicas da vertente

Setor da vertente	Zona	Infiltração Escoamento	Setor a montante	Setor a jusante	Características Geomorfológicas e Clinográficas	Padrão de ocupação	Usos Permitidos - UP e Controlados - UC	Taxa de Permeabilidade- TP e compensações - C
Topo	1	MA/B EA/B MA/A EA/A	área urbana com elevada Taxa de impermeabilização; Zona 2	Zona 11	Setor retilíneo e setor com predomínio de formas antropogênicas; Declividade variável: 0 - 5%, 6 - 11%, 20 - 29% (setores com cortes de aterro), 30- 49% (ravina); Parte do escoamento superficial da área urbana localizada à montante converte para este setor através de canaletas abertas, contribuindo para o desenvolvimento de sulcos erosivos e de uma ravina.	Não é permitido parcelamento do solo	UP: Área verde pública integrando lazer e preservação	TP: 95% da área C: Adoção de medidas de contenção dos processos erosivos, reorganização do sistema de drenagem da área urbana à montante, alto índice de cobertura vegetal.
Topo	2	MA/B A/B EA/B*	***	Zona 9 Zona 10 Zona 11 Zona 12	Setor plano e setor retilíneo; Declividade predominante: de 0 - 5%, 6-11%, e pequeno setor de 12 -19%.	LM: 500 TO: 60% CA: 1,4 G: variável	UP: Residencial	TP: 75% da área livre de edificações.
Topo	3	M/B B/B M/A*	***	Zona 5 Zona 6 Zona 7	Setores planos e retilíneos com predomínio de formas antropogênicas; Declividade predominante: 0-5%, e pequenos setores de 6 - 11%; As edificações da UNESP apresentam cortes de aterros e alguns arranjos no sentido da declividade, fato que influencia o comportamento dos fluxos de escoamento superficial. A ausência de vegetação e intensa circulação de maquinários pesados podem ser apontados como fatores que contribuem para a as baixas condições de infiltração.	LM: 300 TO: 70% CA: 1,4 G: variável	UP: Residencial Comercial, Institucional e Serviços não incômodos.	TP: 70% da área livre de edificações. Obrigatoriedade de dispositivos de retenção e infiltração das águas pluviais no lote.
Topo	4	A/B M/B* M/A*B*	***	Zona 5 Zona 7	Setor plano com predomínio de formas antropogênicas; Declividade: 0-5%; As edificações da UNESP apresentam cortes de aterros e alguns arranjos no sentido da declividade, fato que influencia o comportamento dos fluxos de escoamento superficial.	LM: 500 CA:1,4 TO: 70% G: variável	UP: Residencial	TP: 70% da área livre de edificações. Obrigatoriedade de dispositivos de retenção e infiltração das águas pluviais no lote.
Média	5	MA/B A/B MA/A* A/A*	Zona 3 Zona 4	Zona 7 Zona 6	Setor retilíneo; Declividade predominantemente: 0-5% e 6-11%; As edificações da UNESP apresentam cortes de aterros e alguns arranjos no sentido da declividade, fato que influencia o comportamento dos fluxos de escoamento superficial. A ausência de vegetação e intensa circulação de maquinários pesados podem ser apontados como fatores que contribuem para a as baixas condições de infiltração.	LM: 1000 TO: 40% AC: 1,4 G: variável	UP:Residencial	TP: 75% da área livre de edificações
Da média a baixa	6	M/B M/A B/B* B/B*	Zona 3 Zona 5	APP Planície fluvial	Setor retilíneo; Declividade predominante: 6- 11% e pequeno setor da baixa vertente com declividade entre 12 -19%.	LM: 300 TO: 60% CA: 1,4 G: 7 m	UP:Residencial	TP: 75% da área livre de edificações Incentivo a dispositivos de retenção e infiltração de água no lote ou áreas livres vegetadas.
Baixa	7	A/B A/A M/B M/A	Zona 5	APP Planície fluvial	Setor retilíneo. Declividade predominante entre 6 – 12% e em setor restrito próximo ao limite com a APP, de 12 a 19%	LM: 500 TO: 60% CA: 1,4 G: 7 m	UP: Residencial	TP: 75% da área livre de edificações. Incentivo à manutenção de áreas livres vegetadas no lote ou dispositivos que favoreçam a infiltração.
Da média à baixa	8	A/B A/A MA/A MA/B	Zona 3	APP Planície fluvial	Setor convexo. Declividade predominante de 6 – 11%, com pequenos setores Apresentando declividade entre 0-6%.	LM: 1000 TO: 40% AC: 1,4 G: variável	UP: Residencial	TP: 75% da área livre de edificações.
Média	9	MA/B A/B A/A MA/A	Zona 2	APP curso d'água intermitente	Setor convexo. Declividade predominante: 6 – 11% e pequenos setores com declividade entre 12- 19.	Não é permitido o parcelamento do solo.	UP: Área verde pública integrando recreação e preservação; UC: Uso institucional permitido mediante compensação.	Permitido uso Institucional desde que a impermeabilização total da área não exceda 30% e sejam adotados dispositivos de retenção e infiltração das águas pluviais e arborização.
Média	10	A/B MA/B*	Zona 2	APP curso d'água intermitente 12	Setor em parte convexo em parte côncavo; Declividade 6-11% e de 12 – 19%.	LM: 500 CA:1,4 TO: 70% G: variável	UP: Residencial	TP: 75% da área livre de edificações.
Da média a baixa	11	A/A A/B MA/A	Zona 1 Zona 2 Área Urbana	APP Represa DAAE	Setor retilíneo; Declividade predominante de 6-12% e pequenos setores na baixa vertente com declividade entre 12 – 19% e 20-29%.	LM: 1000 TO: 40% AC: 1,4 G: variável	UP: Residencial	TP: 75% da área livre de edificações.
Baixa vertente	12	B/B M/B A/B*	Zona 2 Zona 10	APP curso d'água intermitente	Setor convexo da vertente. Declividade predominante entre 6-11%, 12-19% e pequenos setores com declividade entre e 20 -29%; Cerca de metade da área apresenta solos com discordância textural abrupta.	LM: 250 m2 TO: 70% CA: 1,4 G: 7 m	UP: Residencial	TP: 75% da área livre de edificações. Incentivo ao uso de dispositivos de retenção das águas pluviais.
Baixa vertente	13	M/B B/B A/B MA/B	Zona 8	APP Planície fluvial Ribeirão Claro	Setor convexo; Declividade predominante entre 6 – 11% e 12 – 19%.	LM: 300 TO: 70% CA: 1,4 G: 7	UP: Residencial	TP: 75% da área livre de edificações. Incentivo ao uso de dispositivos de retenção das águas pluviais.

Quanto aos índices urbanísticos adotados observa-se através da tabela 13, que para as zonas que apresentam melhores condições de infiltração e/ou alta concentração de escoamento incentivou-se a verticalização, sem limitar o gabarito, uma vez que o tamanho do lote e o CA adotado (1,4) inviabilizam torres de número elevado de pavimentos. Para as zonas que, naturalmente, não apresentaram boas condições de infiltração (Zona 6, 12, 13) incentivou-se a ocupação horizontal, restringindo o gabarito a 2 pavimentos. Em contrapartida, para as Zonas 6 e 13, incentivou-se o uso de dispositivos de retenção e infiltração no lote e, para a Zona 12 incentivou-se apenas o uso de dispositivos de retenção e retardamento dos fluxos de escoamento superficial, uma vez que se caracteriza como uma das áreas de discordância textural na qual a infiltração propicia movimentos do solo em subsuperfície, podendo ocasionar abatimentos no terreno e processos erosivos. No caso da Zona 3, que, naturalmente, não apresenta boas condições de infiltração e contribui para a concentração de escoamento a jusante, permitiu-se a verticalização com menores lotes e maiores TOs, em contrapartida, exigiu-se a implantação de dispositivos de retenção das águas pluviais.

Os índices urbanísticos definidos para cada uma das zonas em que foi dividida a vertente possibilitam aumento na proporção de áreas permeáveis da área urbana. Se consideramos as diretrizes básicas adotadas pelo Plano Diretor de Rio Claro: LM de  $160\text{m}^2$ , testada mínima de 8m, TO = 70%, AP = 20% (da área do lote), ruas do sistema viário com 15 m de largura e tomarmos como padrão quadras com dimensões 80x40m, a área destinada ao sistema viário será de 41,2% e apenas 11,7% da área passível de ser urbanizada seria permeável. Além disso, estas áreas estariam distribuídas em pequenos fragmentos entre cerca de 3.700 lotes. Se nos basearmos nos padrões urbanos propostos para cada uma das zonas com base na avaliação das características naturais, podemos observar um aumento significativo, além de uma localização mais eficiente, das áreas permeáveis. A tabela 14 apresenta os percentuais totais de área permeável para cada uma das 13 zonas e para toda a área passível de ser urbanizada, considerando os padrões de ocupação propostos. Baseou-se em um modelo com quadras com dimensões de 150 x 60 m e 150 x 50 m e ruas com 15m de largura, o que determina que 28,57% da área passível de ser urbanizada seja destinada ao sistema viário. Foram comparadas duas possíveis situações conforme os padrões estabelecidos. Uma situação em que a urbanização se caracterize por casas térreas ou com até 2 pavimentos, e uma situação em que predomine edifícios de 5 pavimentos (para as Zonas em que o gabarito é limitado a 7 o cálculo baseou-se em residências com 2 pavimentos).

Tal cálculo embasou-se na área passível de ser urbanizada, ou seja, a área total da zona, descontadas a faixa de “área não edificável” conforme Lei 6766/79, nos casos zonas próximas aos cursos d’água. As APPs, que também configuram-se como áreas permeáveis, não foram computadas nestes cálculos.

Tabela 14: Percentual de área permeável por Zona

ZONA	Área Permeável prevista por lote (%)	Área Permeável por Zona (%)	
		com até 2 pavimentos	com 5 pavimentos (se gabarito variável) e 2 pavimentos (se gabarito=7)
1	95% da área da Zona	95	95
2	75% da AL	21,4	38,5
3	70% da AL	15,0	36,0
4	70% da AL	15,0	36,0
5	75% da AL	32,1	38,5
6	75% da AL	21,4	38,5
7	75% da AL	21,4	21,4
8	75% da AL	32,1	38,5
9	70% da área da Zona	70	70
10	75% da AL	16,0	38,5
11	75% da AL	32,1	38,5
12	75% da AL	16,0	16,0
13	75% da AL	16,0	16,07
TOTAL	---	27,14	36,7

Elaboração: o autor

É possível constatar, que mesmo para ocupações térreas, o modelo permite um incremento de áreas permeáveis (passando 11,7% para 27,14 do total da área urbanizável) e, com a verticalização, esse incremento é ainda mais significativo. Além disso, o fato das áreas permeáveis estarem alocadas em setores em que realmente a infiltração é significativa e, devido aos lotes serem maiores, apresenta-se menos fragmentada.

Tendo em vista o objetivo de propor um modelo de urbanização em que as alterações no hidrograma natural da vertente sejam minimizadas, ressalta-se que além dos padrões previstos para cada zona, sejam observadas as seguintes diretrizes urbanas:

- As quadras devem apresentar comprimento mínimo de 150 m – uma vez que quanto menor a área da quadra, maior a proporção do sistema viário e conseqüentemente maior a proporção de áreas impermeáveis;

- A Taxa de Permeabilidade deve ser fixada com base na área livre de edificação – desta forma o aumento do número de pavimentos pode contribuir para o aumento do percentual de área permeável do lote. A maioria das leis de zoneamento que exigem observação à Taxa de Permeabilidade ou Coeficiente de Permeabilidade como diretriz para ocupação urbana, a define como a relação entre a área do terreno permeável e a área total do lote.
- Os lotes devem ter área mínima de 250 m – a Lei de parcelamento de solo urbano (LEI 6766/1979) prevê lotes com área mínima de 125 m<sup>2</sup> e o Plano Diretor de Rio Claro-SP (LEI, 3806/2007) determina para o município lotes mínimos 160m<sup>2</sup>. O tamanho do lote relaciona-se diretamente a renda da população que ocupará a área urbana e pode, portanto, configurar-se como um determinante da segregação sócio-espacial. Embora os menores lotes sejam mais acessíveis à população de menor poder aquisitivo, estes inviabilizam a manutenção da infiltração por fragmentar demasiadamente as áreas permeáveis. Por outro lado, os padrões urbanísticos propostos favorecem modelos de ocupação vertical com poucos pavimentos, que são mais acessíveis do que edifícios muito altos, devido aos menores custos de projeto. Os padrões mais restritivos propostos (lotes de 1000m<sup>2</sup>, com TO de 40% e CA de 1,4), por exemplo, possibilitam a construção de dois prédios por lote, com 4 pavimentos cada, área de projeção da edificação de 175 m<sup>2</sup> cada, o que viabiliza até 3 apartamentos por andar com cerca de 50m<sup>2</sup> cada. Desta forma, a mesma área que seria ocupada por 6 residências horizontais de 125m<sup>2</sup> cada ou 8 de 160 m<sup>2</sup> passa a ser ocupada por 24 residências verticais. Propiciando mais que o dobro de áreas livres (de 30% para 65% da área do lote).
- Nos setores da vertente com declividade maior ou igual a 6%, as quadras deverão seguir as curvas de nível, alterando-se de forma que as vias que seguem o sentido do declive não sejam contínuas – propiciando quebra de energia do fluxo de escoamento superficial;
- Nos setores de fundo de vale, paralelo às “áreas não edificáveis” previstas pelas Lei 6766/1979, deve ser prevista a implantação de Áreas institucionais, equipamentos comunitários ( equipamentos públicos de educação, cultura, saúde, lazer e similares), espaços públicos abertos e prédios públicos, configurando-se como área de lazer/recreação com baixíssima impermeabilização e arborização;
- As calçadas devem apresentar no mínimo 30% de sua área permeáveis;

- Deve-se prever incentivos fiscais para edificações que apresentem proporção de área permeável maior que a prevista para a zona, conservar áreas arborizadas nas áreas livres dos lotes, implantar dispositivos que favoreçam a retenção ou infiltração das águas pluviais;
- O sistema viário deverá seguir a seguinte hierarquia: via principal (arterial), caracterizada por interseção em nível, controlada por semáforos, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias coletoras e locais, possibilitando o trânsito entre o bairro e outras regiões da cidade. Devem apresentar largura mínima de 33 metros, localizar-se no topo da vertente junto a linha de cumeada e deve apresentar canteiro central permeável e arborizado; vias coletoras: coletam o tráfego das vias locais e alimentam a via principal, largura mínima de 21 metros; vias locais: via de acesso aos lotes, com largura mínima de 15 metros, devem apresentar revestimento permeável;
- A definição das áreas públicas de lazer, no processo de parcelamento de solo urbano, deve basear-se na avaliação do mapa de Condições de Infiltração e Escoamento, sendo localizadas, preferencialmente, em setores que apresentem alta taxa de infiltração e alta concentração de escoamento superficial ou em setores que, mesmo não apresentando ótimos potenciais naturais de infiltração, apresentem localização estratégica (com condições de escoamento e infiltração a montante e a jusante classificadas como BA ou MA, conforme mapa de Condições de Infiltração e Escoamento). A Figura 25 destaca as áreas preferenciais para a localização das áreas de lazer;
- Nos lotes lindeiros à via arterial, localizada no topo da vertente é permitido usos Comerciais, Institucionais e Serviços não incômodos, com possibilidade de aumentar o CA e a TO mediante operação urbana consorciada<sup>6</sup>, sendo exigida, em contrapartida, adoção de dispositivos de retenção, infiltração ou retardamento das águas pluviais, que garantam a manutenção das condições de vazão natural;

Os padrões de ocupação propostos propiciam uma baixa densidade populacional e residencial para as Zonas localizadas nos setores de baixa vertente (são exceções as Zonas 8 e 11, em que é permitida a ocupação vertical, justificada pelas condições de escoamento e

---

<sup>6</sup> Operação urbana consorciada é o conjunto de intervenções e medidas coordenadas pelo Poder Público municipal, com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, com o objetivo de alcançar em uma área transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental. Em função da utilização de benefícios como, por exemplo, modificação de índices e características de parcelamento, uso e ocupação do solo deve ser exigida contrapartida dos proprietários, usuários permanentes e investidores privados. (ESTATUTO DA CIDADE, LEI 10257/2001)

infiltração identificadas) enquanto os setores de topo apresentam maior densidade residencial e populacional decorrente da possibilidade de verticalização. Esta diminuição da densidade populacional e residencial no sentido topo – fundo de vale favorece e justifica a hierarquia viária proposta. Nos setores de topo e próximo a via arterial concentram-se as maiores densidades populacionais, favorecendo o acesso ao transporte público. Na baixa vertente, as vias locais favorecem a circulação de pedestres, o convívio nas áreas verdes públicas, o acesso aos prédios públicos e propiciam condições favoráveis a adoção de calcamento permeável.

A adoção de diferentes tamanhos de lotes baseia-se nos princípios de equidade e justiça social, tornando o bairro acessível à diferentes classes socioeconômicas.

A possibilidade de diferentes usos (comercial, serviços, institucional) concebe a vertente, enquanto unidade de vizinhança, que apresente relativa autonomia com relação às necessidades cotidianas, de consumo de bens e serviços urbanos. Nos setores de topo, conforme zoneamento proposto, estarão alocados os serviços e comércios, necessários às necessidades diárias, e o fundo de vale se caracterizará por ser uma ampla área verde que concilia preservação e recreação e acesso aos serviços públicos. Tanto o topo como o fundo de vale configuram-se como centros de integração com as vertentes vizinhas (vertentes opostas pelo curso d'água e vertentes opostas pela linha de cumeada). Este modelo, se adotado nas vertentes nas duas margens de um curso d'água, caracterizará o fundo de vale como uma grande área verde urbana, contribuindo para a gestão do risco relacionado a enchentes urbanas e funcionando como centro de vivência entre bairros vizinhos.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Os resultados da presente pesquisa permitiram demonstrar a relevância de que a organização espacial da sociedade baseie-se na avaliação das características do meio natural, contribuindo para que a cidade se desenvolva de maneira sustentável. A sustentabilidade, tão defendida nas entrelinhas deste trabalho, só se efetivará quando o Estado, através do planejamento urbano, regular a organização espacial da sociedade a favor do bem estar e segurança coletivos, evitando que as regras de uso do solo urbano sejam condicionadas pela obtenção de lucro. É sob esta perspectiva que se propõe que a definição de padrões urbanos de uso e ocupação do solo ocorra com base na análise hidrogeomorfológica de vertentes. Mesmo a verticalização materializada como um processo avançado de exploração capitalista da terra urbana e que, tradicionalmente, não é vista como solução aos problemas ambientais por propiciar densificação populacional, alterações microclimáticas e sobrecarga na infraestrutura urbana, apresenta potencialidade no controle da impermeabilização excessiva do espaço urbano, se adotada, com a preocupação de que à área edificada verticalmente corresponda uma área livre no lote.

As técnicas empregadas para o reconhecimento das características de infiltração e escoamento da vertente apresentaram resultados satisfatórios. Tais técnicas destacam-se pela facilidade de execução e baixo custo, podendo ser adotadas no processo de zoneamento urbano de qualquer município.

A escala de análise ambiental proposta apresentou potencial de aplicabilidade na gestão do escoamento superficial e prevenção dos riscos de enchentes urbanas. Considera-se que a proposta responde à necessidade de uma unidade física espacial de detalhe, compatível com a escala em que são definidos os padrões de uso e ocupação do solo, permitindo que a análise ambiental seja efetivamente contemplada em todas as etapas do processo de planejamento urbano. No entanto, dentre as dificuldades de se implementar esta proposta destaca-se o fato de que a escala detalhada de análise origina um número elevado de zonas, com pequena expressão espacial (com dimensões inferiores às de um projeto de loteamento), o que pode dificultar a estrutura formal de uma Lei de Zoneamento. Desta forma, questiona-se, se realmente um zoneamento nesta escala de detalhe seria efetivamente aplicado e em que instância do processo de planejamento isso ocorreria. Tendo em vista que o modelo não se aplica à áreas de urbanização consolidada, considera-se que este pode ser agregado às leis de zoneamento municipais sem grandes complicações, uma vez que bastaria a análise e

zoneamento detalhado das vertentes que compõem as áreas de expansão urbana. Outra possibilidade para tornar viável a sua aplicabilidade seria definir, na Lei de Zoneamento, apenas as diretrizes gerais para controle da elevada impermeabilização e uma matriz que relacione as prováveis características de infiltração e condições de escoamento com os índices urbanísticos exigidos, transferindo ao projeto de parcelamento de solo urbano, e portanto, ao loteador, a responsabilidade por reconhecer as condições de infiltração e escoamento da área a ser loteada. Esta análise seria requisito para aprovação do projeto de loteamento.

Considera-se que o modelo de zoneamento proposto permite integrar elementos fundamentais do processo de planejamento urbano: a densidade urbana, morfologia urbana e adequabilidade ambiental. Se aplicado para todas as vertentes de uma bacia hidrográfica, por exemplo, os principais eixos viários estarão alocados junto aos divisores de águas da bacia integrando de maneira eficiente várias regiões da cidade. Contíguos a estes eixos, na alta vertente, estarão os setores de maior densidade residencial. Esta característica viabiliza a implantação do sistema de transporte público eficiente através destes eixos, diminuindo custos e gastos energéticos. Na direção do fundo de vale diminuem-se as densidades residenciais, e, portanto, a demanda por transporte público. Em faixa paralela às APPs deverão estar os prédios públicos e áreas livres públicas (voltados ao lazer, saúde, cultura, entre outros) que contribuirão para a gestão do risco relacionado a enchentes urbanas e funcionarão como centro de vivência entre bairros vizinhos. Acredita-se que esta proposta propicia uma valorização do fundo de vale e com isso contribua para a conscientização da necessidade de preservação destas áreas.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. **Densidade urbana**: um instrumento de planejamento e gestão urbana. Rio de Janeiro: Mauad, 1998. 104 p.

ACSELRAD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. In: **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, ANPUR, n. 1, p. 79-90, mai. 1999. Disponível em: <[http://www.anpur.org.br/revistas/ANPUR\\_v1n2.pdf](http://www.anpur.org.br/revistas/ANPUR_v1n2.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2009.

AMADO, M. Planejamento Urbano Sustentável: processo operativo. In: **Revista Lusófona de Arquitectura e Educação** n°2, 2007, p. 35-44. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10437/389>>. Acesso em: 12 jun. 2009.

BARBOSA, C.; CARVALHO, P. F. C. A Produção Capitalista do Espaço Urbano e a Sustentabilidade: o caso das Cidades Médias Paulistas. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2008, p. 1-15. 1 CD.

BARROSO FILHO, J. Propriedade: A quem serves? Jus Navigandi. Teresina, a. 6, n. 52, nov. 2001. Disponível em: <<http://www1.jus.com.br/doutrina/texto.asp?id=2453>>. Acesso em: 28 mai. 2010.

BEROUTCHACHVILI, N.; BERTRAND, G. Le géosystème ou “système territorial naturel”. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, Toulouse, v. 49, n. 2, p. 167-180, 1978.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993. 352 p.

BRASIL, República Federativa do. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm)>. Acesso em: 15 jun. 2009.

BRASIL, República Federativa do. **Estatuto da Cidade - Lei nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/Leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/Leis/LEIS_2001/L10257.htm)>. Acesso em: 22 mar. 2009.

BRASIL, República Federativa do. **Código Florestal**: Lei nº 4771 de 15 de setembro 1965. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm)>. Acesso em: 20 fev. 2009.

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=299>>. Acesso em: 21 jun. 2010.

BRASIL, República Federativa do. **Lei de Parcelamento de solo urbano**: Lei nº 6766 de 19 de dezembro de 1979. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm)>. Acesso em: 12 jun. 2010.

BRÜSEKE, F. J. O problema do desenvolvimento sustentável. In: Cavalcanti, C. (Org.). **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife, PE: Fundação Joaquim Nabuco, 1995. p. 29-40.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. São Paulo: Freitas Bastos S. A., 1968. 594 p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto agronômico, 1986. 94p.

CARLOS, A. F. **A Cidade**. São Paulo: Contexto, 1994.

CARVALHO, E. T.; PRANDINI, F. L. Áreas Urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE. 1998. p. 487-498.

CARVALHO, I. M. F. Direito à propriedade e conflito social: A Vila Irmã Dulce como estudo de caso. In: **Jus Navigandi**, Teresina, ano 6, n. 52, 2001. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=2448>>. Acesso em: 5 jan. 2009.

CARVALHO, P. F. Instrumentos legais de gestão urbana: referências ao Estatuto da Cidade e ao zoneamento. In: BRAGA, R. e CARVALHO, P. F. (Orgs) **Estatuto da Cidade: Política Urbana e Cidadania**. Rio Claro: UNESP/IGCE/DEPLAN/LPM, 2000. p. 41-59.

CARVALHO, P. F.; BRAGA, R. Zoneamento Ambiental Urbano por Micro-Bacias Hidrográficas: Estudo de Viabilidade em Cidade Média no estado de São Paulo – BR. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 1., 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP/Unesp/Universidade do Minho, 2005. p. 1-11.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASTELLS, M. **A Questão Urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, p. 19-46.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B da (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceito**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 93-148.

CORDEIRO, D. G.; BATISTA, E. M.; AMARAL, E. **Utilização do equipamento penetrômetro de cone para identificação dos neveis de compactação do solo**. Instruções Técnicas EMBRAPA, n. 15, dez. 1998, p. 1-2. Disponível em: <<http://www.repdigital.cnptia.embrapa.br/bitstream/CPAF-AC/3651/1/it15.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2009.

COTTAS, L. R. **Estudos Geológicos geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro-SP**. 1983. v. 2. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 2001.

CUNHA, L. Densidade de ocupação do solo e planejamento Urbano. **Análise social**. Lisboa, v. 2, n. 6, p. 199-213, abr. 1964.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p. 45-60, 1992.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6. ed. Tradução de J. A. dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

DUTRA, C. M; ULTRAMARI, C.; SANTOS, C. R. **Meio ambiente urbano**. Disponível em: <<http://www.ebape.fgv.br/cids/NOVO%20DEBATE%20CidadeDutra.html>>. Acesso em: 20 out. 2004.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006.

FAZANO, C. B. **Proposta de zoneamento ambiental estudo de caso – bairro Cidade Aracy**. Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

FERRARI, C. **Curso de planejamento municipal integrado urbanismo**. São Paulo: Pioneira, 1977.

FONTES, N. **Proposta Metodológica para planejamento de sistemas de espaços livres: Ribeirão Preto – SP**. 2009. 193 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 2009.

GERRARD, J. **Soil geomorphology: an integration of pedology and geomorphology**. London: Chapman & Hall, 1995. 269 p.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-210.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas encostas. In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1996. p. 139-156.

GUERRA, A. J. T. O início do Processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

IWASA, O. Y.; FENDRICH, R. Controle da Erosão Urbana. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 271-282.

JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de Superfície. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 101-110.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA, IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 15 de abr. 2010.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação, 2 imp. rev. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

MARYLAND, P. G. C. **Low-impact development design strategies: an integrated design approach**. Largo, Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, 1999.

MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1972. 459 p.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. In: **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 69-77, jan. 2005.

NERY JÚNIOR, J. M. **Um Século De Política Para Poucos: O Zoneamento Paulistano 1886 – 1986**. 2002. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://jmarinho.sites.uol.com.br/index2.htm>>. Acesso em: 18 fev. 2009.

OLIVEIRA, A. B. **A análise Geomorfológica e Sócio-econômica como Instrumento de Ação no Planejamento Urbano**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 1997.

OLIVEIRA, J. B. Fatores de Formação. In: Moniz, A. C. (Org.). **Elementos de pedologia**. São Paulo: EDUSP, 1972. p. 275-288.

OLIVEIRA, R. C. **Zoneamento Ambiental como subsídio ao planejamento no uso da terra do município de Corumbataí-SP**. 2003. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 2003.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semi detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. II Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1984.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. P. 59-122.

PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L. C.; CAMPOS, R. **Relatório do Workshop – Drenagem urbana sustentável no Brasil**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2003.

PENTEADO-ORELLANA, M. M. Estudo Geomorfológico do Sítio Urbano de Rio Claro (SP). **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 21, n.42, p. 23-56, dez., 1981

RIO CLARO - SP, Prefeitura Municipal de. Plano Diretor de Rio Claro: Lei 3806, de 28 de dezembro de 2007. **Plano Diretor de Rio Claro e Normas complementares**. Rio Claro-SP, 2008, p. 16-78

RIO CLARO - SP, Prefeitura Municipal de. Projeto de Lei de Parcelamento de Solo Urbano: PL n 072/08. **Plano Diretor de Rio Claro e Normas complementares**. Rio Claro-SP, 2008, p.137-152

RIO CLARO - SP, Prefeitura Municipal de. Projeto de Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do solo: PL 146/08. **Plano Diretor de Rio Claro e Normas complementares**. Rio Claro -SP, 2008, p.166-311

PÔMPEO, C. A. (2000) Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, volume 5, no. 1, Porto Alegre, RS, p. 15-23

RÉ, D. S.; THIERSCH, C. R.; ANDRADE, C. M. Avaliação do uso da krigagem na definição de estratos para o inventário florestal. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2009, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 2009. p.1-4.

RODRIGUES, C. Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na Definição de Unidades Espaciais de Planejamento Urbano: Exemplo na metrópole Paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n 17, 2005, p. 101-111.

RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V. Para una interpretacion epistemológica de la geografia a partir de la dialéctica. **Mercator** – **Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, CE, ano 04, número 8, 2005.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável e mudança institucional: notas preliminares 1. **Texto para Discussão**, IE/UNICAMP, Campinas, n. 68, abr. 1999. Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/Downloads/Publicacoes/TextosDiscussao/texto68.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2009.

ROMEIRO, A. R. Economia ou economia política da sustentabilidade? **Texto para Discussão**. IE/UNICAMP n. 102, set. 2001. Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/Downloads/Publicacoes/TextosDiscussao/texto102.pdf>> Acesso em: 3 jun. 2009.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.8, p.63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. In: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p.351-388.

SANTIN, J. R; GOMES, D. A Função Social da propriedade Urbana e o Estatuto da Cidade. **História: debates e tendências**, Passo Fundo, V. 6, nº 1, p. 177-192, 1º sem. 2006.

SANTOS, M. Materiais para o estudo da urbanização brasileira no período técnico-científico. In PAVIANI, A. (Org). **Seminário e Estudos Urbanos e Regionais**. Brasília: UNB, 1993.

SANTOS, M. **Por uma outra Globalização: do Pensamento Único à Consciência Universal**. São Paulo: Record, 2000.

SANTOS JÚNIOR, O. A. **Reforma urbana. Por um novo modelo de Planejamento e Gestão das Cidades**. Rio de Janeiro: FASE/UFRJ-IPPUR, 1995.

SÃO CARLOS - SP, Prefeitura Municipal de. **Plano Diretor de São Carlos – SP: Lei 13.691/2005**. Plano Diretor de São Carlos – SP. LEI 13.691 de 25 de Nov. de 2005. Disponível em:<<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/utilidade-publica/plano-diretor.html>> Acesso: 15 de junho de 2010.

SARTORIO, S. D. ; MAESTRE, M. R. ; FRANÇA, E. J. ; LIMA, C. G. Concentrações de Sódio em Parcela Permanente do Parque Estadual Carlos Botelho. In: 52ª REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA - RBRAS E 12º SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA (SEAGRO), 2007, Santa Maria - RS. Programa e Resumo - SEAGRO 2007. **Anais...**, Santa Maria - RS, 2007.

SCHÄUBLE, H. (2004). **HydroTools 1.0 for ArcView 3.x**. Disponível em: <[http://www.terracs.de/ArcView\\_3\\_x/Oldies/oldies.html](http://www.terracs.de/ArcView_3_x/Oldies/oldies.html)>. Acesso em: 15 mar. 2010.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados- SEADE**. Índice Paulista de Vulnerabilidade Social. Disponível em: <[http://www.al.sp.gov.br/web/ipvs/index\\_ipvs.htm](http://www.al.sp.gov.br/web/ipvs/index_ipvs.htm)>. Acesso em: 12 jul. 2010.

**SILVA, A. M.; SCHULZ, H.E; CAMARGO, P. B.** Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. São Carlos: Rima Editora, 2004.

**SILVA, J. A.** **Direito Urbanístico Brasileiro**. 2ª Ed. São Paulo: Malheiros Editores, 1997.

SOCTCHAVA, V. B. O estudo de Geossistemas. **Métodos em questão**, São Paulo, n.16, p. 1-50. IG, USP, 1997.

SOUZA, M. L. de. O território: sobre o espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. In CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Orgs.). **Geografia: Conceitos e Temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

SOUZA, M. L. de. **Mudar a Cidade: uma introdução crítica ao planejamento e a gestão urbanos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

STAHEL, A. W. Capitalismo e entropia: aspectos ideológicos de uma contradição e a busca de alternativas sustentáveis. In: CAVALCANTI, C. (Org.) **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez/Fundação Joaquim Nabuco, Recife- PE:, 1995. p. 104-127

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n. 1), disponível em: <[http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar\\_ARTIGOS/24.%20Recomenda%20E7%E3o%20para%20o%20uso%20do%20penetr%20metro%20de%20impacto%20modelo%20iaa%20planalsucar%20-%20Stolf%20\(STOLF,%20R.\).pdf](http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar_ARTIGOS/24.%20Recomenda%20E7%E3o%20para%20o%20uso%20do%20penetr%20metro%20de%20impacto%20modelo%20iaa%20planalsucar%20-%20Stolf%20(STOLF,%20R.).pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2010.

THOMAZ, E. L. Geomorfologia e agrossistemas: indicadores de degradação do solo. In: NUNES, J. O, R.;ROCHA, P. C. (Orgs.). **Geomorfologia: aplicação e metodologias**. São Paulo: Expressão Popular: UNESP, Programa de Pós Graduação em Geografia, 2008, p. 33-56.

TROPMAIR, H. Aspectos Geográficos: o quadro natural. In: MACHADO, I. L. (Coord.). **Rio Claro Sesquicentenária**. Rio Claro: Museu Histórico Pedagógico Amador Bueno da Veiga,1978.

TUCCI, E. M. **Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre: UNESCO, Global Water Partnerhip, 2005. Disponível em: <<http://www.aveagua.org/Manual%20Gestion%20de%20Inundaciones%20Urbanas.pdf>> Acesso em: 13 abr. 2009.

TUCCI, E. M. Inundações urbanas. In: TUCCI, E.M., PORTO, R. L. E BARROS, M.T. (Orgs.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, p15-36.

TUCCI, E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepções. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 2, n.2, p. 5-12, Jul/Dez, 1997.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais**. São Paulo: Editora Agronômica, CERES LTDA, 1988.

VILLA, B. **O controle do uso do solo e da ocupação do solo urbano pelo município**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima/Cepam, 1991.

VILLAÇA, F. **Espaço Intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Estúdio Nobel, Fapesp, 2001

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook** n.537. Washington: US Department of Agriculture, 1978. 58p.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências)- Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 2000.



## 9 ANEXOS

### 9.1 Anexo 1 – Chuvas diárias de janeiro a junho de 2009

Tabela 3: Chuvas diárias de Rio Claro no primeiro semestre de 2009.

Alturas diárias de chuva (mm) 2009						
DIA	jan	fev	mar	abr	mai	jun
1	15,7	0,2				
2						
3	7,2	15,5				
4	71,8	23,4			0,5	
5	3,9	5,7			2,6	
6						
7				11,1		
8	0,4	1,7				
9		24,7	1,1			
10	3,3	25,4	47			
11		1,2	6			10,6
12		6,6	19,1			3,9
13		44,8	28	2,3		2,3
14		3,6	4,3	11,4	23,6	
15	28,4	7,8	5,8	0,4	14,8	
16		22,7	8,2		1,9	
17	4,5					
18	10,7		14			
19	4,3	0,5				
20	4,2	1	2,9			
21	16,5					
22		3,2	15,8			
23		0,2	3,9			
24		6,9	0,4	0,1		
25	4,8	30,2				
26	40,2					5,4
27	9,3					
28	23,5					6,5
29	15,6		1,3			
30	16,9					
31	5,4					
Total	286,6	225,3	157,8	25,3	43,4	28,7

Em destaque período do experimento com infiltômetro.

(Fonte: Estação Meteorológica de Rio Claro, CEAPLA – IGCE- UNESP – PMRC)

## 9.2 Anexo 2 :Taxa de Infiltração, Granulometria e Resistência à Penetração por Pontos Amostrais.

Ponto	coordenadas		Taxa de infiltração		Resistência a Penetração		Granulometria (superfície)			Granulometria (sub-superfície)		
	X	Y	cm3/s	transformada	impactos/dm	transformada	% Areia	% Silte	% Argila	% Areia	% Silte	% Argila
1	238052,808	7521025,476	1,83	1,114	3,49	0,287	45,15	1,35	53,5	50,9	7,65	41,45
2	238307,271	7521121,531	0,10	0,669	2,80	0,357	76,9	1,95	21,15	67,9	0,25	31,85
3	238379,734	7521150,179	0,23	0,770	2,76	0,362	71,4	0,25	28,35	61,2	1,75	37,05
4	238526,345	7521202,42	1,06	1,010	4,17	0,240	52,35	4,55	43,1	40,55	4,7	54,75
5	238657,789	7520888,976	0,62	0,918	6,32	0,158	68,2	4,6	27,2	57,55	0,85	41,6
6	238293,789	7520754,161	0,16	0,723	4,26	0,235	47,95	7,6	44,45	35,55	7,55	56,9
7	238241,548	7520900,772	0,40	0,850	3,22	0,311	42	9,4	48,6	31,6	6,8	61,6
8	238165,715	7520631,142	0,81	0,963	3,85	0,260	36,2	13,25	50,55	34,8	4,8	60,4
10	238592,707	7520497,91	0,83	0,967	6,88	0,145	73,65	6,5	19,85	66,35	8,35	25,3
14	238378,048	7520954,698	1,40	1,062	7,63	0,131	71,6	4,55	23,85	55,8	7,95	36,25
15	238667,9	7521067,605	1,07	1,012	4,81	0,208	58,75	6,35	34,9	52,05	4,7	43,25
16	238519,604	7520835,05	2,48	1,176	8,15	0,123	74,9	4,6	20,5	70,2	3,3	26,5
17	238659,474	7521252,976	0,24	0,778	3,44	0,291	64,55	4,7	30,75	56,8	4,6	38,6
18	238502,051	7520245,063	0,17	0,729	3,84	0,260	76,9	5,35	17,75	56,8	5,9	37,3
19	238539,826	7521018,735	2,16	1,147	5,84	0,171	41,65	11,9	46,45	39,85	7,3	52,85
20	238806,085	7520936,161	0,07	0,629	3,37	0,297	69,9	9,2	20,9	64,1	8	27,9
21	238590,58	7520158,593	0,06	0,600	6,45	0,155	71,2	5,5	23,3	53,55	5,65	40,8
22	238735,308	7520651,365	0,45	0,866	4,93	0,203	67,25	7,3	25,45	57,1	5,05	37,85
23	238616,635	7520339,664	0,36	0,834	4,40	0,227	61,85	8,4	29,75	46,6	9,7	43,7
24	237.960,01	7.519.925,70	1,50	1,074	3,02	0,331	87,5	0,6	11,9	88,7	1,1	10,2
25	238728,567	7520559,522	0,39	0,847	10,37	0,096	62,85	7,4	29,75	57,8	7,2	35
26	238339,607	7520578,564	0,22	0,765	5,95	0,168	68,2	3,05	28,75	59,2	1,75	39,05
27	238363,384	7520364,984	1,60	1,087	4,76	0,210	84,3	3,1	12,6	78,4	1,95	19,65
28	238787,885	7520228,584	0,96	0,992	2,89	0,346	76	5,2	18,8	58,3	6	35,7
29	238218,595	7520490,086	1,73	1,102	3,52	0,284	43,95	11,05	45	43,15	4,7	52,15
31	238119,624	7520198,997	2,14	1,145	6,77	0,148	77,25	3,4	19,35	67,9	2,65	29,45
32	238957,752	7520664,846	0,00	0,380	3,63	0,275	53,7	9,35	36,95	51,9	2,6	45,5
33	238827,993	7520490,429	0,12	0,688	5,68	0,176	53,85	11,9	34,25	28,6	25,55	45,85
34	238672,522	7520420,946	1,48	1,073	5,88	0,170	35,95	38,15	25,9	58,45	2,1	39,45
35	238817,9	7520363,935	0,49	0,882	4,92	0,203	59,6	12,2	28,2	65,75	12,6	21,65
36	238796,693	7520434,618	1,39	1,061	3,19	0,313	70,85	8,85	20,3	39,15	12,9	47,95
37	238505,69	7520406,815	0,22	0,762	5,41	0,185	67,05	9,5	23,45	53,4	7,55	39,05
38	238561,734	7520644,624	1,01	1,002	4,26	0,235	80,25	3,35	16,4	69,4	6,7	23,9
39	238695,58	7520061,828	0,79	0,960	20,15	0,050	65,7	11,1	23,2	65,8	8,95	25,25
40	238724,405	7520455,006	0,22	0,762	4,00	0,250	53,4	11,4	35,2	51,45	21,65	26,9
41	238381,504	7520482,809	1,23	1,037	6,79	0,147	74,7	4,7	20,6	71,75	2,5	25,75
42	238841,474	7520656,42	2,43	1,171	4,21	0,238	57,95	13,05	29	42,65	8,1	49,25
43	238711,517	7520279,496	0,38	0,840	3,40	0,294	53,6	11,85	34,55	48,95	12,1	38,95
45	238558,154	7519882,453	6,65	1,402	3,16	0,316	60,55	14,2	25,25	34,85	12,2	52,95
46	238483,666	7519746,828	4,65	1,315	3,18	0,314	49,5	21,65	28,85	44,2	11,8	44

47	238314,698	7520164,769	1,03	1,006	5,00	0,200	79,85	1,2	18,95	67,2	11,2	21,6
48	238270,948	7520015,247	1,82	1,113	8,84	0,113	81,25	3,25	15,5	73,5	0,25	26,25
50	238434,109	7520030,946	0,40	0,850	5,79	0,173	59,4	12,35	28,25	45,25	5,35	49,4
51	238507,145	7519945,024	0,40	0,850	9,81	0,102	66,95	8,85	24,2	42,7	6,8	50,5
52	238123,227	7520393,299	4,80	1,322	3,35	0,299	51,85	8,6	39,55	50,9	1,2	47,9
53	238349,698	7519910,247	1,24	1,040	5,37	0,186	76,95	6,6	16,45	66,05	3,6	30,35
54	238439,851	7519795,698	7,87	1,444	8,50	0,118	65,45	3,9	30,65	55,05	8,95	36