

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM SISTEMA COMPLEXO: BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO PIÇARRÃO (CAMPINAS-SP)¹

Sérgio Henrique Vannucchi Leme de MATTOS²

Archimedes PEREZ FILHO³

Resumo

Tendo como embasamento teórico os paradigmas da complexidade e sustentabilidade e como procedimento metodológico a utilização de indicadores, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP). Com base principalmente em critérios geomorfológicos, foram identificadas 9 unidades ambientais presentes na bacia e, para cada uma, avaliada sua qualidade ambiental por meio da aplicação de 11 indicadores (divididos nas categorias de pressão, estado e resposta). A comparação entre as unidades ambientais evidenciou situações bastante heterogêneas, diversidade esta decorrente das particularidades de cada unidade em relação às características e processos dos subsistemas físico-natural e socioeconômico e à dinâmica de inter-relações estabelecida entre eles na organização do sistema ambiental complexo. Em comum, as unidades compartilham o fato de que – em diferentes graus e por motivos diferenciados, mas complementares – estão todas distantes de um desenvolvimento urbano sustentável. Assim, a avaliação da qualidade ambiental da bacia do Piçarrão revela as consequências de um modo de urbanização regido por interesses econômicos privados em detrimento ao bem-estar da coletividade, processo que gera e reforça desigualdade e exclusão sociais (refletindo-se em segregação socioespacial e vulnerabilidades diferenciadas aos riscos naturais) e degrada o meio físico-natural.

Palavras-Chave: Bacia hidrográfica. Qualidade ambiental. Indicador. Complexidade. Sustentabilidade.

Abstract

Environmental quality assessment in complex system: Piçarrão River Basin (Campinas-SP-Brazil)

Based on complexity and sustainability paradigms and using indicators as methodological procedure, this work evaluated environmental quality of Piçarrão river basin (Campinas - São Paulo State - Brazil). Geomorphological characteristics were used to define nine environmental units and their environmental qualities were assessed through application of eleven indicators, divided into three categories (pressure, state and response). Comparative evaluation between environmental units showed very heterogeneous situations, but all of them share the fact that – at different levels and because distinct (although complementary) reasons – they are far from an urban sustainable development. Thus, environmental quality assessment of Piçarrão river basin reveals the consequences of an urbanization ruled by private economic interests in detriment of collective welfare. This process causes degradation of physical-natural subsystem, as well generates and reinforces social inequality and exclusion (reflecting in socio-spatial segregation and unequal vulnerabilities to natural risks).

Key-Words: River basin. Environmental quality. Indicator. Complexity. Sustainability.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, defendida e aprovada em agosto de 2005 pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-Unicamp).

² Doutorando - Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. E-mail: sergiohm@ige.unicamp.br

³ Orientador - Professor Titular do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. End: Rua Pandiá Calógeras, 51; CEP: 13084-970 – Campinas-SP. E-mail: archi@ige.unicamp.br.

INTRODUÇÃO

Qualidade ambiental pode ser definida como o conjunto de condições que estabelecem o estado atual e direcionam a tendência evolutiva de determinada organização espacial. Esta, por sua vez, é resultante da interação dos subsistemas socioeconômico (antrópico-sociedade) e físico-natural (geossistema-natureza): cada um possuindo organização, dinâmica de funcionamento e especificidades próprias, mas, ao se inter-relacionarem, formam um sistema de maior nível hierárquico – o sistema ambiental (PEREZ FILHO, no prelo). A bacia hidrográfica é um exemplo de sistema ambiental que, assim como os demais sistemas pertencentes a esta categoria, apresenta características como auto-organização, não-linearidade, aninhamento hierárquico e presença de mecanismos de retroalimentação (MATTOS & PEREZ-FILHO, 2004). Por conta destas propriedades, os sistemas ambientais são considerados como sistemas dinâmicos de comportamento complexo (ou, resumidamente, sistemas complexos).

Em um sistema ambiental, o subsistema físico-natural funciona como suporte para as atividades humanas, fornecendo as potencialidades e limitações dentro das quais estas atividades podem ser desenvolvidas (CHRISTOFOLETTI, 1996; 1999). Já o subsistema socioeconômico é capaz de impor mudanças ao subsistema físico-natural à medida que a sociedade transforma suas propriedades geocológicas em recursos naturais dos quais se apropria (CASSETI, 1991). Além disso, com inovações tecnológicas, é possível à sociedade alterar os limites e potencialidades do subsistema físico-natural. Há, portanto, interações e transformações recíprocas (de “mão dupla”) entre os subsistemas físico-natural e socioeconômico.

Desajustes nessa dinâmica, provocados por atividades antrópicas que resultam em degradação ambiental e comprometimento da qualidade de vida, vêm alertando a humanidade a rever seus modos de vida e suas relações com o subsistema físico-natural. É nesse contexto que ganha força o paradigma da sustentabilidade, o qual aponta para a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento que busque integrar crescimento econômico, equidade social e conservação dos recursos naturais (GONDOLO, 1999).

Dois conceitos relacionados à evolução dos sistemas complexos – estabilidade e resiliência – são fundamentais para se compreender o significado da sustentabilidade dos sistemas ambientais (PERRINGS, 1996). A estabilidade representa a capacidade de um sistema submetido a um distúrbio manter o mesmo padrão global de organização que apresentava antes de ocorrer tal evento⁴ (MATTOS; PEREZ-FILHO, 2004). Cabe lembrar que a estabilidade em um sistema complexo não se caracteriza por uma situação estática, mas sim por um conjunto de estados pelos quais o sistema pode transitar ao longo do tempo em função de sua dinâmica e da influência de perturbações.

Já a resiliência, segundo CARPENTER *et al.* (2001), pode ser associada: a) à magnitude do distúrbio que o sistema é capaz de absorver de modo a permanecer na mesma situação em que se encontrava antes do distúrbio; b) ao grau em que o sistema é capaz de se auto-organizar após sofrer um distúrbio; e c) ao grau em que o sistema pode construir e aumentar sua capacidade de aprendizagem e adaptação. Assim, quanto mais resiliente um sistema, maior a probabilidade de ele manter seu padrão organizacional (ou seja, sua estabilidade) quando sujeito a algum distúrbio ou, caso este supere determinado limiar crítico e leve o sistema a um estado de instabilidade provisória, maior a capacidade deste sistema se

⁴ Vale lembrar que a Teoria dos Sistemas Dinâmicos define diferentes tipos de estabilidade, tais como: estabilidade no sentido de Lyapunov, estabilidade bifo e estabilidade estrutural. O conceito de estabilidade conforme utilizado neste artigo aproxima-se da definição de estabilidade estrutural. Um sistema é dito estruturalmente estável (ou robusto) se não ocorrem mudanças qualitativas nas equações que descrevem a dinâmica do sistema antes e após uma perturbação (a qual, matematicamente, é representada por alterações nos valores de parâmetros que fazem parte das equações do sistema) (AUYANG, 1998; MONTEIRO, 2002).

adaptar e estabelecer um novo padrão de organização. Os conceitos opostos e complementares à resiliência são fragilidade e vulnerabilidade, relativos, respectivamente, aos subsistemas físico-natural e socioeconômico.

A sustentabilidade de um sistema ambiental significa, portanto, a manutenção de sua estabilidade e de sua resiliência dentro de um conjunto de estados compatíveis com aquelas configurações organizacionais entre seus subsistemas que garantam qualidade de vida a todos os membros da sociedade e, ao mesmo tempo, respeito aos limites e potencialidades do subsistema físico-natural.

Para subsidiar tomadas de decisões em busca da sustentabilidade, uma ação bastante útil é o uso de indicadores que permitam avaliar a qualidade do sistema ambiental estudado. Os indicadores de qualidade ambiental podem se configurar em um procedimento metodológico que liga as idéias de complexidade, estabilidade, resiliência e sustentabilidade, “traduzindo” os atributos do sistema e as interações entre seus componentes em informações sintéticas e inteligíveis. A sistematização e a simplificação das informações facilitam a modelagem do sistema ambiental e o entendimento de sua organização espacial (vale lembrar que complexidade não é sinônimo de complicação, uma vez que o comportamento complexo de muitos sistemas pode surgir a partir de regras simples de funcionamento). Os indicadores também auxiliam os diversos segmentos da sociedade no planejamento e na tomada de decisões sobre ações a serem desencadeadas para melhorar a qualidade ambiental e atingir a sustentabilidade, bem como a identificar os principais entraves para que isso ocorra (GONDOLLO, 1999).

Esse instrumento metodológico adquire importância fundamental principalmente em grandes centros urbanos, nos quais as interações entre os fatores que afetam a qualidade ambiental são complexas e onde a exclusão social e a degradação do meio físico que caracterizam o processo de urbanização destas cidades representam o maior desafio para que nelas se atinja um desenvolvimento urbano sustentável.

Foi a partir deste arcabouço teórico-metodológico – fundamentado nos paradigmas da complexidade e sustentabilidade e na utilização de indicadores – que o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão, sistema ambiental situado no município-sede da região metropolitana de Campinas (SP).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão está localizada na região centro-sul de Campinas (SP) (Figura 1). Sua área, de cerca de 65,342 km², corresponde a 8,2% da área total do município. O córrego do Piçarrão percorre aproximadamente 22 km até desaguar à margem direita do rio Capivari. Entre o alto e o médio curso, ele segue no sentido leste-noroeste; do médio para o baixo curso, ocorre uma mudança abrupta de direção, passando a percorrer o sentido noroeste-sudoeste (Figura 2). É interessante notar que o sentido geral da bacia – de leste para sudoeste – coincide com um dos principais vetores de expansão urbana no município de Campinas (CUNHA; OLIVEIRA, 2001), fato que, como será visto mais adiante no item “Resultados e Discussão”, influencia significativamente no comportamento dos indicadores nas diferentes unidades ambientais da bacia do Piçarrão.

As altitudes da bacia variam entre 555m e 785m. Em relação ao relevo e aos cursos d’água, podem ser identificadas regiões bastante distintas entre si (Figuras 2 e 3). Entre o alto e o médio curso da bacia, correspondentes à região de altitudes superiores a 600m e de relevo menos acidentado, as densidades hidrográfica e de drenagem são relativamente baixas. Já do médio para o baixo curso, na zona de relevo mais dissecado, as densidades hidrográfica e de drenagem são bastante elevadas. Na porção final da bacia, observa-se um menor número de canais fluviais e estas densidades se reduzem.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão em relação ao município de Campinas (SP)

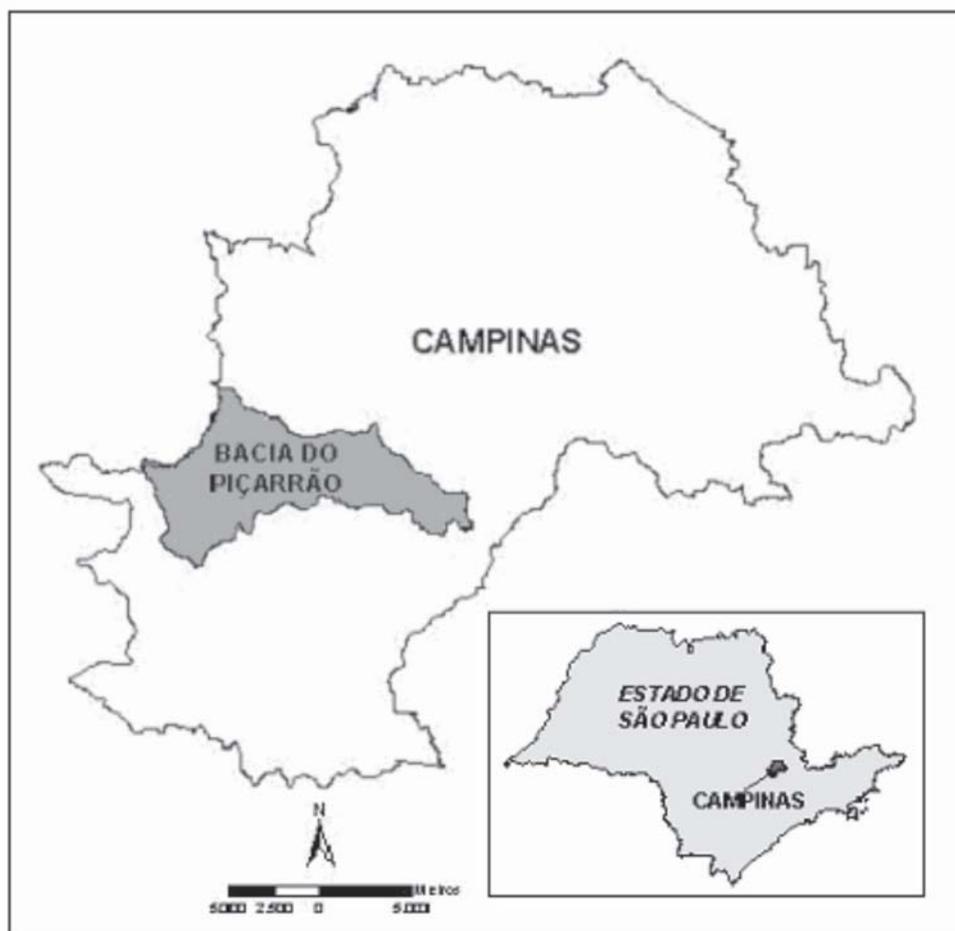


Figura 2 - Mapa da rede hidrográfica da bacia do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)

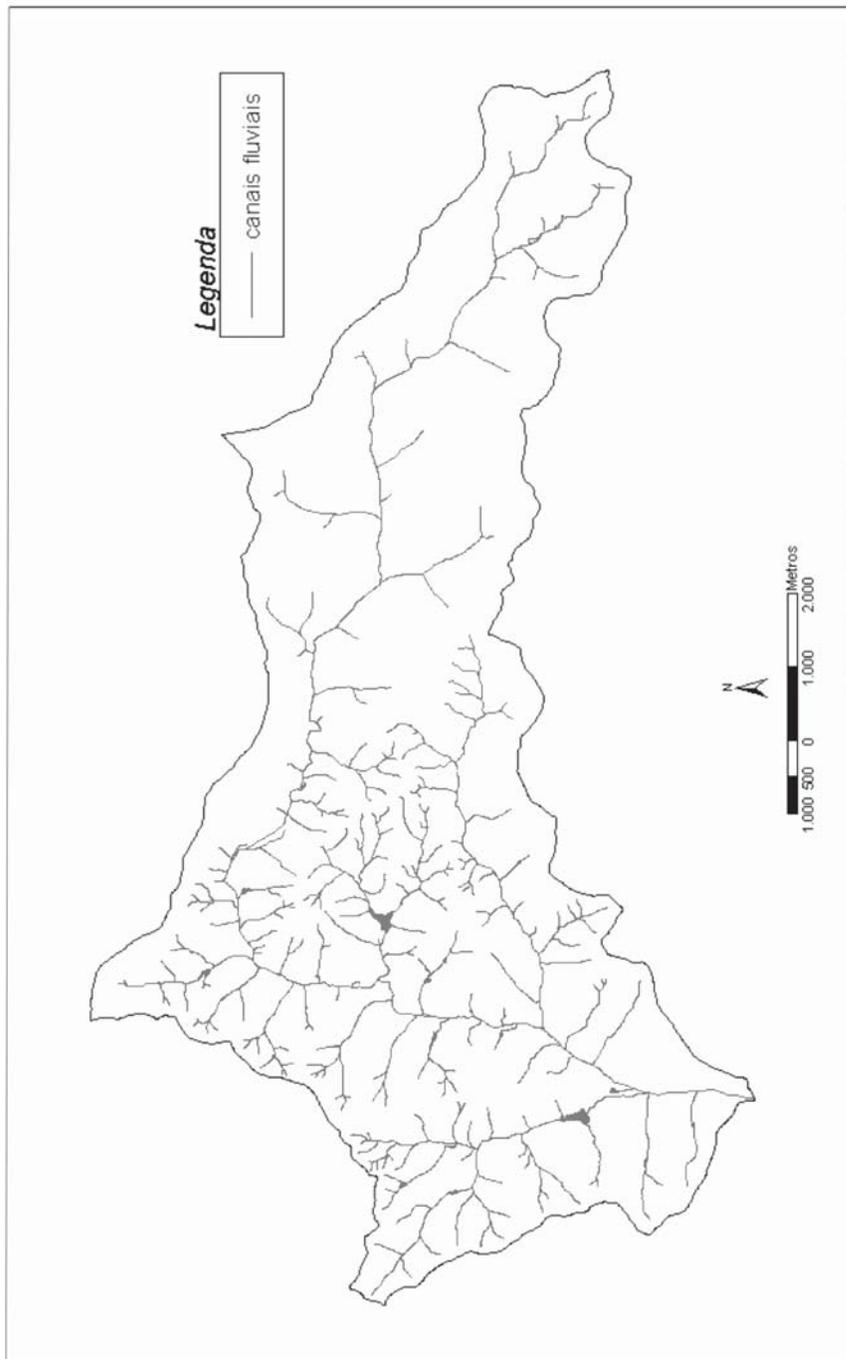
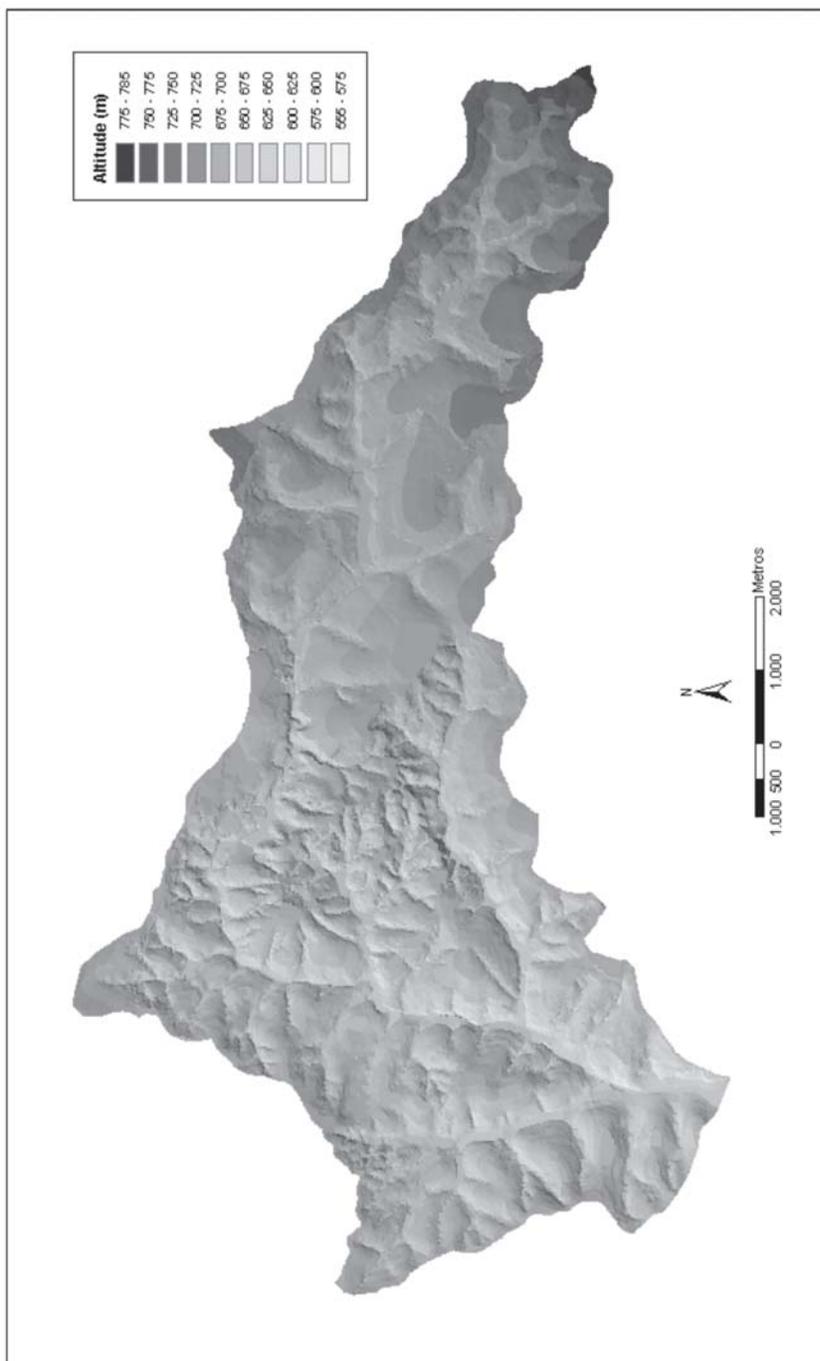


Figura 3 - Modelo digital de terreno da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)



Em relação ao uso e ocupação das terras (Figura 4), observa-se que o alto curso da bacia do Piçarrão é uma área de intensa urbanização, processo iniciado entre o final do século XIX e começo do século XX. Caracteriza-se predominantemente pelo uso residencial, mas com processo de verticalização ainda pouco acentuado. Residências de médio e alto padrão são mais frequentes, embora sejam encontrados bairros com população de renda mais baixa, incluindo algumas favelas e conjuntos habitacionais. Indústrias e grandes galpões comerciais se distribuem principalmente no entorno das rodovias e grandes avenidas. A presença de áreas verdes e livres é irrisória se comparada aos outros tipos de uso que ocorrem na região.

As áreas de urbanização periférica são caracterizadas pela presença predominante de conjuntos habitacionais para população de baixa renda, loteamentos populares, favelas e ocupações em áreas públicas e particulares. Estes tipos de habitação distribuem-se de maneira esparsa pelo médio e baixo curso da bacia, com grandes vazios urbanos separando-os do tecido urbano (Figura 4). Tal configuração espacial é resultante do processo de periferização iniciado em Campinas na década de 1950 e que se intensificou a partir de meados dos anos de 1960, quando a industrialização do município foi impulsionada e este passou a receber grande fluxo de imigrantes em busca de emprego. Como é típico na urbanização das grandes cidades brasileiras, a periferização de Campinas foi acompanhada de especulação imobiliária: os loteamentos foram feitos afastados da malha urbana, valorizando as terras vazias situadas entre eles e a região central e, conseqüentemente, gerando segregação socioespacial (HOGAN *et al.*, 2001).

Encravados nas áreas de vazio urbano e uso rural, existem pontos restritos com reflorestamento de eucalipto e algumas manchas isoladas com remanescentes de matas nativas (Figura 4). As atividades agropecuárias e de mineração que antecederam a ocupação urbana no médio e baixo curso do Piçarrão foram as grandes responsáveis pela quase completa destruição da vegetação original da região (praticamente eliminada já na década de 1950).

METODOLOGIA

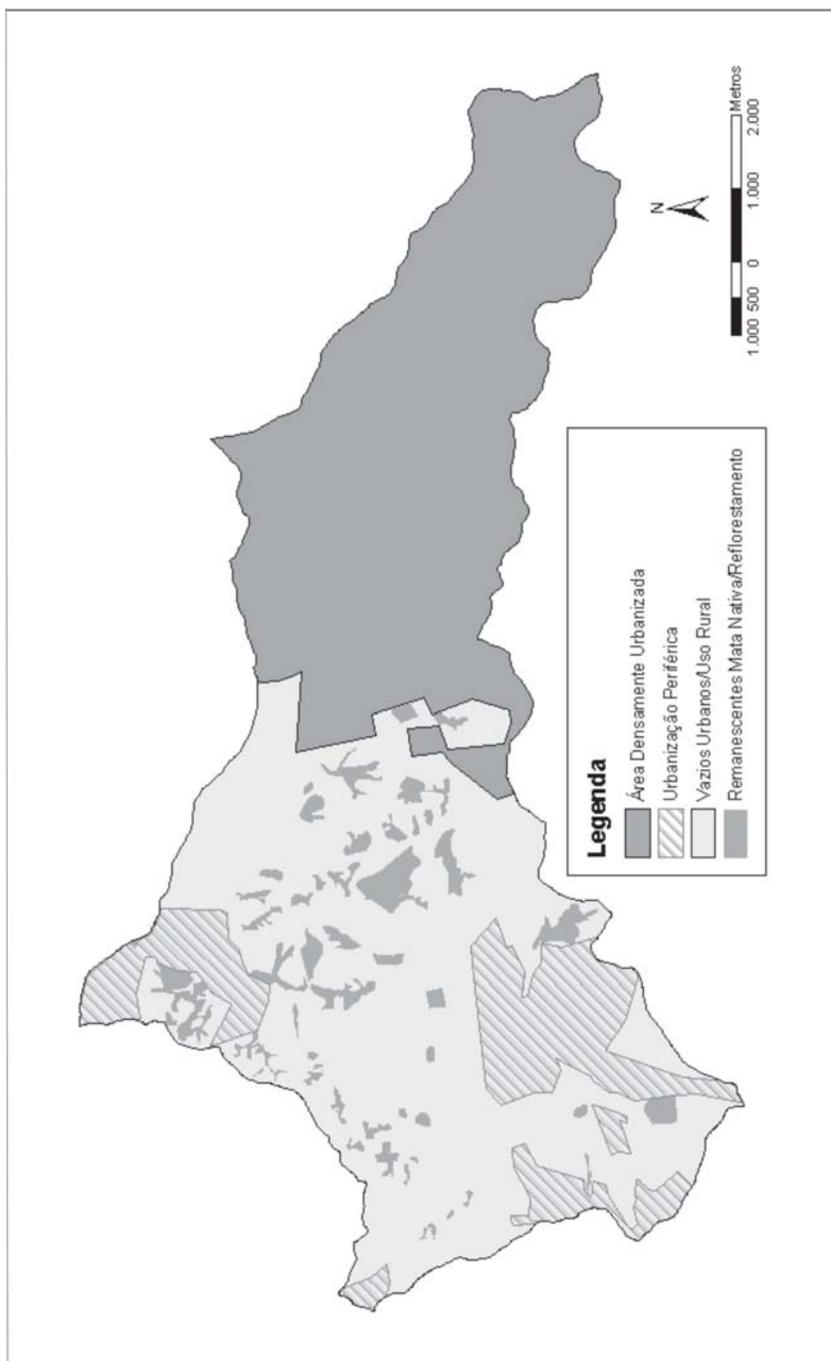
Para a avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão, foram adotados dois procedimentos metodológicos complementares: 1) definição das unidades ambientais da bacia; e 2) aplicação de indicadores de qualidade ambiental.

Definição das unidades ambientais:

As unidades ambientais podem ser entendidas como subsistemas que compõem a bacia hidrográfica e, como tais, apesar de pertencerem a uma organização

9 hierárquica mais elevada, cada uma delas possui organização e dinâmica próprias que permitem distingui-las das demais. Isso porque, em cada uma das unidades, as relações entre os subsistemas físico-natural e socioeconômico assumem configurações específicas, dependentes das características expressas pelos subsistemas naquele espaço. Assim, a definição das unidades ambientais permite compreender melhor a qualidade ambiental na bacia hidrográfica e identificar os principais processos que influenciam na sua distribuição espacial, já que contempla a heterogeneidade de situações que podem ser encontradas na área.

Figura 4 - Mapa de uso e ocupação das terras da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)



Para a definição das unidades ambientais que compõem a bacia do Piçarrão, adaptou-se a metodologia usada pelo projeto "Rede Euro-Latino-Americana de Monitoramento Ambiental" (RELESA/ELANEM) (CENDRERO *et al.*, 2002), no qual avalia-se a qualidade ambiental das chamadas "unidades ambientais integradas" existentes em determinada região, definidas em função tanto de aspectos físico-naturais como político-administrativos. As características geomorfológicas estão entre os principais critérios usados para delimitar tais unidades, pois, segundo a concepção do projeto, "(...) o relevo, como base física de sustentação, converte-se em bem passível de apropriação, servindo de suporte às atividades humanas e, conseqüentemente, como capacidade de suporte ambiental" (CENDRERO *et al.*, 2002, p.35).

Na presente pesquisa, os dados de geomorfologia extraídos do mapa de declividade e do modelo digital de terreno foram as fontes prioritárias para definição das unidades ambientais. A análise, a partir do mapa de hidrografia, dos padrões de drenagem existentes na bacia e o cruzamento dos mapas citados com os mapas geológico e pedológico também foram bastante úteis durante este procedimento. Para cada extensão areal contínua em que tais características físico-naturais guardavam grau elevado de homogeneidade, foi definida uma unidade ambiental.

Aplicação de indicadores para avaliação da qualidade ambiental:

Para a avaliação da qualidade ambiental das unidades integrantes da bacia do Piçarrão, utilizou-se um conjunto de indicadores organizados segundo a metodologia denominada "Pressão-Estado-Resposta" (PER), originalmente proposta pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2003). As definições das categorias de indicadores foram modificadas da proposta original, de modo a tornar mais explícitas as inter-relações entre qualidade ambiental, sustentabilidade e estabilidade. Assim, os grupos de indicadores buscaram representar as seguintes características da dinâmica do sistema ambiental estudado:

- *Indicadores de Pressão:* indicam fontes de perturbações de origem antrópica surgidas no sistema e que têm o potencial de retirá-lo ou mantê-lo afastado de um estado estável;
- *Indicadores de Estado:* representam a organização atual do sistema ambiental, identificando sua tendência à estabilidade ou instabilidade. Em relação ao subsistema socioeconômico, esta tendência se manifesta pelas condições de vida e grau de vulnerabilidade da população; para o subsistema físico-natural, ela é representada pela sua sensibilidade às perturbações (fragilidade) e capacidade de resiliência; e
- *Indicadores de Resposta:* refletem reações da sociedade, frente às perturbações por ela introduzidas, na tentativa de manter a estabilidade do sistema ou de se ajustar às novas condições surgidas, a fim de atingir um novo estado estável. Assim, tais respostas representam regulações e adaptações da sociedade visando tanto a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos quanto do ambiente do qual fazem parte.

A seleção dos indicadores apoiou-se principalmente nos critérios de validade/representatividade (indicadores que expressam significativamente a dinâmica do sistema) e de disponibilidade (dados já existentes ou possíveis de serem obtidos dentro do prazo estabelecido para a pesquisa). Foram escolhidos quatro indicadores para as categorias de pressão e estado e três indicadores para a categoria de resposta, totalizando onze indicadores usados para avaliação da qualidade ambiental das unidades presentes na bacia do Piçarrão (Tabela 1).

Tabela 1 – Indicadores utilizados para avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)

CATEGORIA	INDICADOR	DESCRIÇÃO DO INDICADOR
PRESSÃO	Densidade Demográfica	número de pessoas residentes em domicílios particulares nos setores censitários incluídos na unidade ambiental em relação à área total de tais setores (fonte: Censo 2000)
	Domicílios improvisados/ em favela	porcentagem de domicílios particulares improvisados e de domicílios particulares localizados em aglomerados sub-normais (favelas) em relação ao total de domicílios particulares da unidade (fonte: Censo 2000)
	Coleta domiciliar de lixo	porcentagem de domicílios particulares permanentes dos setores censitários incluídos na unidade que são atendidos por serviço de coleta domiciliar de lixo (fonte: Censo 2000)
	Esgoto ligado à rede geral	porcentagem de domicílios particulares permanentes dos setores censitários abrangidos pela unidade que estão ligados à rede geral de esgoto ou pluvial (fonte: Censo 2000)
ESTADO	Dedividade	área percentual ocupada por cada classe de dedividade multiplicada pelo valor atribuído à classe ⁵ . O valor do indicador foi dado pela soma dos resultados obtidos para todas as classes de dedividade (fonte: Mapa de Dedividade gerado a partir de Modelo Digital de Terreno)
	Densidade de drenagem	comprimento total dos canais de drenagem em determinada unidade dividido pela área da unidade (fonte: Mapa de Hidrografia)
	Impermeabilização e/ou exposição do solo	frequência relativa, para cada unidade ambiental, de áreas com remanescentes de matas e/ou arborização urbana em relação às áreas impermeabilizadas e/ou com solo exposto (fonte: fotos aéreas de 2001/escala aprox.: 1:5.000)
RESPOSTA	Renda dos responsáveis por domicílios	proporção, para cada unidade ambiental, entre o número de responsáveis por domicílios com renda superior a 10 salários-mínimos em relação àqueles que recebem até 2 salários-mínimos (fonte: Censo 2000)
	Participação no Orçamento Participativo	número estimado de moradores de cada unidade ambiental que participaram das assembleias do Orçamento Participativo ⁶ em relação ao número total de moradores da unidade (fonte: Prefeitura Municipal de Campinas)
	Prioridades definidas no Orçamento Participativo	número de prioridades ligadas a melhorias na qualidade ambiental da unidade multiplicado pelo valor atribuído à cada prioridade em função da posição ocupada na lista geral de prioridades ⁷ e dividido pela população da unidade em relação à população total da bacia ⁸ (fonte: Prefeitura Municipal de Campinas)
	Diretrizes do Plano Diretor	número de diretrizes do Plano Diretor de Campinas referentes a melhorias na qualidade ambiental da unidade (fonte: Plano Diretor de Campinas)

⁵ Com base na tendência à estabilidade ou instabilidade morfodinâmica, os valores atribuídos às classes de dedividade foram: 0-3%, 3-6% e 6-12% = 1,0; 12-20% = 0,7; 20-40% = 0,4%; 40% e planícies fluviais (0-3%) = 0,1.

⁶ A proposta do Orçamento Participativo, implementado em Campinas entre 2001 e 2004, é que ele seja um instrumento de gestão democrática das verbas públicas, no qual a população participa da definição de como e onde devem ser aplicados os recursos disponíveis no orçamento municipal. Para o cálculo dos indicadores relativos ao Orçamento Participativo, foram considerados dados referentes às assembleias populares realizadas entre os anos de 2001 a 2003.

⁷ No Orçamento Participativo, as demandas reivindicadas pela população junto ao poder público municipal são organizadas na forma de prioridades, ou seja, elege-se aquelas demandas consideradas mais importantes em relação a determinada região ou tema e estabelece-se uma hierarquia entre elas (classificando-as em ordem de maior para menor importância relativa). De acordo com a classificação ocupada pela prioridade em relação ao total de prioridades selecionadas para cada região, atribuiu-se para o cálculo do indicador um valor dentro da escala de 0,1 a 1 (se a prioridade ocupasse, respectivamente, a 10ª ou a 1ª colocação entre o total de prioridades).

⁸ Tal procedimento foi realizado para buscar atenuar as distorções nos valores do indicador para as diferentes unidades em função de diferenças nos seus tamanhos. Isto porque as unidades de maior extensão e com maior número de bairros têm, a princípio, maior probabilidade de serem contempladas com prioridades no Orçamento Participativo do que aquelas com menor extensão/número de bairros.

A qualidade ambiental das unidades foi avaliada agregando-se todos os indicadores usados na pesquisa. Este procedimento envolveu os seguintes passos:

- 1) *Conversão dos indicadores medidos para escala única de valores*: Como os indicadores foram obtidos em diferentes unidades de medida, a primeira etapa para integrá-los em um único índice de qualidade ambiental consistiu na conversão deles em uma escala única de valores. Esta escala varia de 0 a 1, representando, respectivamente, o pior e o melhor valor de qualidade ambiental para cada indicador. A conversão dos indicadores medidos foi feita da seguinte forma:
 - para os indicadores em que o maior valor medido representava a melhor condição de qualidade ambiental, dividiu-se o valor obtido pelo indicador em determinada unidade pelo maior valor encontrado para o indicador em questão; ou
 - para os indicadores com comportamento antagônico ao anterior, nos quais o maior valor medido representando a pior condição de qualidade ambiental (caso somente dos indicadores “densidade demográfica”, “domicílios improvisados/em favelas” e “densidade de drenagem”), fez-se a mesma operação matemática, mas o resultado foi subtraído de 1.
- 2) *Obtenção dos índices parciais de qualidade ambiental*: Nesta etapa, foram agregados todos indicadores pertencentes à determinada categoria (pressão, estado ou resposta), de modo a gerar índices parciais de qualidade ambiental. Poderiam ser atribuídos pesos diferenciados a cada indicador, de acordo com sua importância relativa na determinação da qualidade ambiental. Preferiu-se, no entanto, considerar que todos indicadores de cada categoria possuíam influência equivalente na dinâmica do sistema. Sendo assim, o índice parcial de qualidade ambiental de cada categoria foi calculado somando-se, para cada unidade, os valores convertidos dos indicadores daquela categoria e dividindo-se o resultado pelo número de indicadores considerados.
- 3) *Determinação do índice final de qualidade ambiental*: O índice final de qualidade ambiental resultou da agregação dos índices parciais de pressão, estado e resposta. Nesta etapa, também poderiam ser dados pesos diferenciados aos índices parciais, mas assumiu-se que eles tinham igual importância para avaliação da qualidade ambiental. Desta forma, o valor do índice final de qualidade ambiental de cada unidade da bacia do Piçarrão foi obtido somando-se os valores de seus índices parciais e dividindo-se o resultado por 3. Tanto para os índices parciais como para o índice final o valor obtido para cada unidade poderia variar entre 0 e 1 (pior e melhor qualidade ambiental, respectivamente).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram definidas 9 unidades ambientais na bacia do Piçarrão (Figura 5). As unidades com mesmo número apresentam características geomorfológicas semelhantes, embora possam diferir em relação ao tipo de uso e ocupação preponderante em cada uma. Os valores dos indicadores e índices de qualidade ambiental para cada unidade são apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 6 e 7 são mostrados os mapas com os índices parciais e final de qualidade ambiental.

Figura 5 - Unidades ambientais da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)

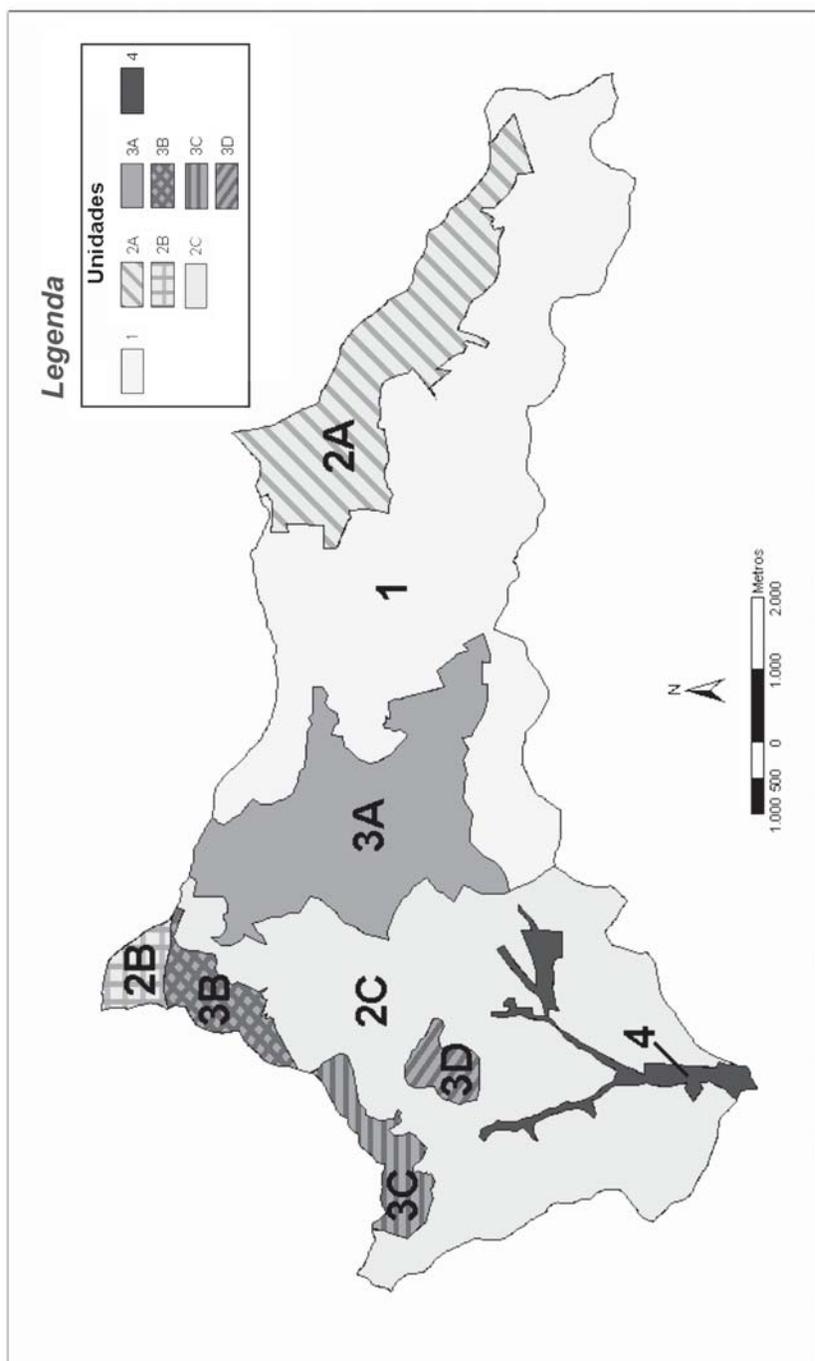


Tabela 2 – Valores dos indicadores e índices de qualidade ambiental para as unidades ambientais da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)

INDICADOR ⁹	UNIDADE	1	2A	2B	2C (+3C+3D) ¹⁰	3A	3B	4
P R E S S Ã O	Densidade Demográfica	0,2054	0,2629	0,8224	0,8307	0,6175	0,7946	0,0000
	Domicílios improvisados/em favela	0,9669	0,9967	0,2542	0,8674	0,4862	0,9968	0,0000
	Coleta domiciliar de lixo	0,9559	1,0000	0,8704	0,9318	0,7513	0,9966	0,8831
	Esgoto ligado à rede geral	1,0000	0,9992	0,9829	0,9953	0,9959	0,9915	0,9959
	ÍNDICE PARCIAL	0,7821	0,8147	0,7325	0,9063	0,7127	0,9449	0,4698
	<i>Posição relativa</i>	4 ^a	3 ^a	5 ^a	2 ^a	6 ^a	1 ^a	7 ^a
E S T A D O	Declividade	0,9963	0,9875	1,0000	0,9757	0,8946	0,9460	0,4958
	Densidade de drenagem	0,8703	0,8768	0,9198	0,7097	0,4900	0,5576	0,0000
	Impermeabilização e/ou exposição do solo	0,1213	0,0000	0,1919	0,4144	0,5537	1,0000	0,3955
	Renda dos responsáveis por domicílios	0,6526	1,0000	0,0329	0,0663	0,2510	0,0974	0,0098
	ÍNDICE PARCIAL	0,6601	0,7161	0,5362	0,5415	0,5473	0,6503	0,2253
	<i>Posição relativa</i>	2 ^a	1 ^a	6 ^a	5 ^a	4 ^a	3 ^a	7 ^a
R E S P O S T A	Participação no Orçamento Participativo	0,8232	0,3205	0,0806	1,0000	0,0736	0,0540	0,5653
	Prioridades definidas no Orçamento Participativo	0,6492	0,4374	0,1268	0,5732	0,2364	0,0000	1,0000
	Diretrizes de qualidade ambiental no Plano Diretor	0,5000	0,2000	0,6000	1,0000	0,7500	0,8000	0,9000
	ÍNDICE PARCIAL	0,6575	0,3193	0,2691	0,8577	0,3533	0,2847	0,8218
	<i>Posição relativa</i>	3 ^a	5 ^a	7 ^a	1 ^a	4 ^a	6 ^a	2 ^a
ÍNDICE FINAL		0,6999	0,6167	0,5126	0,7685	0,5378	0,6266	0,5056
<i>Posição relativa</i>		2 ^a	4 ^a	6 ^a	1 ^a	5 ^a	3 ^a	7 ^a

⁹ Valores convertidos para escala única que varia de 0 a 1, representando, respectivamente, a pior e a melhor condição em termos de qualidade ambiental.

¹⁰ Como grande parte dos indicadores utilizados na pesquisa derivarem de dados referentes à população e suas condições de moradia e como as unidades 3C e 3D não são ocupadas por qualquer uso urbano – registra-se apenas a presença de fazendas e chácaras de lazer –, estas foram agrupadas com a unidade 2C (a única a fazer divisa com elas) e, assim, avaliou-se a qualidade ambiental das três unidades conjuntamente.

Figura 6 - Mapas dos índices parciais de qualidade ambiental para as unidades da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP) (A = pressão; B = estado; C = resposta)

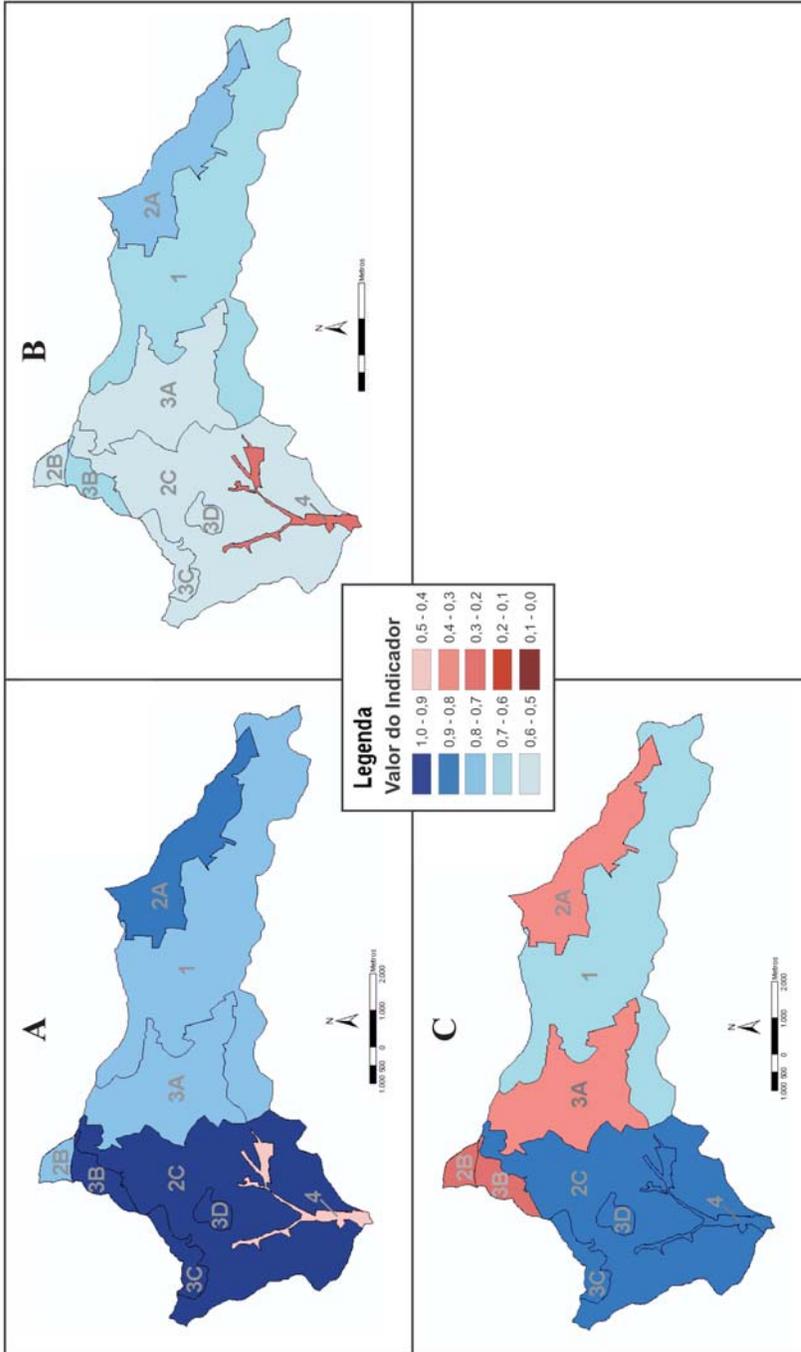
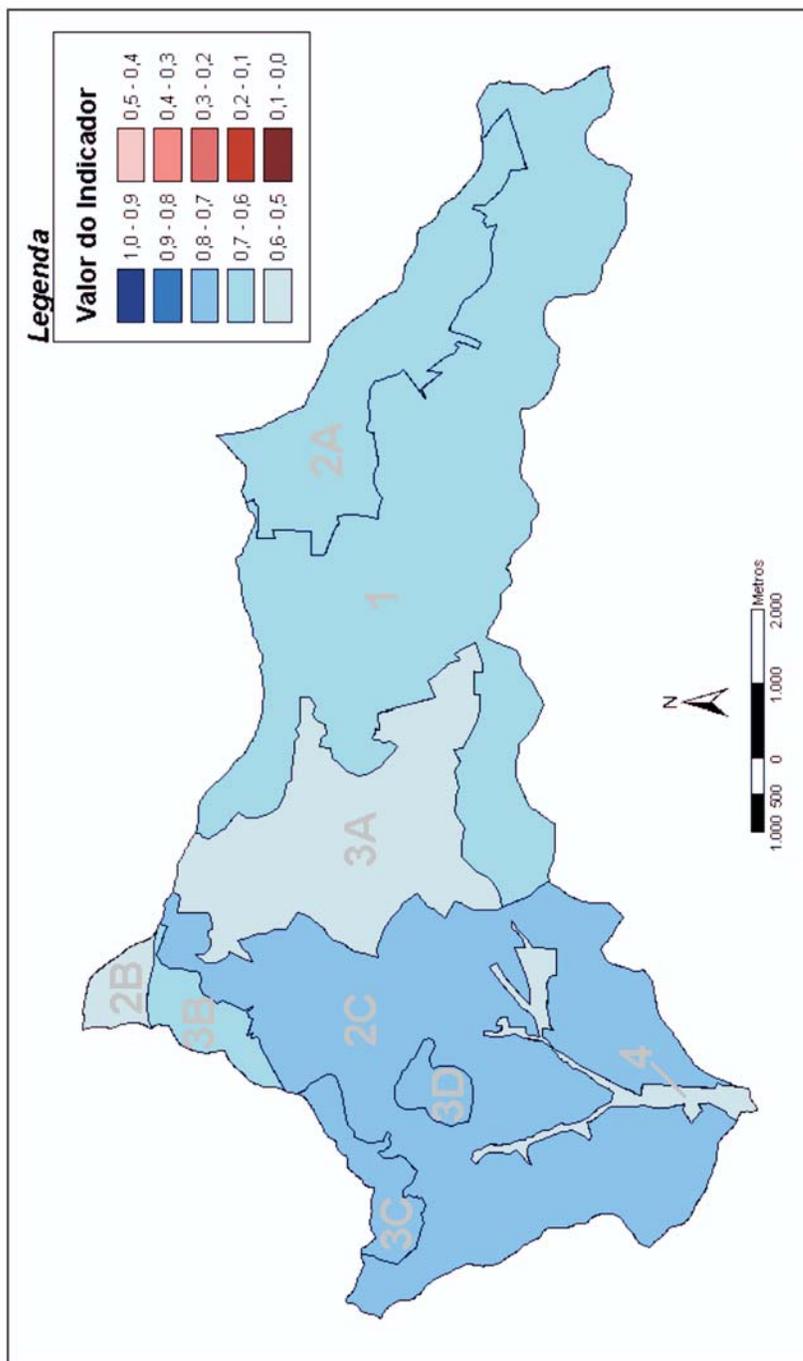


Figura 7 - Mapa do índice final de qualidade ambiental para as unidades da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)



A avaliação comparativa das unidades ambientais evidencia a existência de situações bastante heterogêneas de qualidade ambiental na bacia do Piçarrão, diversidade esta decorrente das particularidades de cada unidade em relação às características e processos inerentes aos subsistemas físico-natural e socioeconômico e à dinâmica de inter-relações estabelecida entre eles na organização do sistema ambiental. Em comum, as unidades compartilham o fato de que – em diferentes graus e por motivos diferenciados, mas complementares – estão todas elas distantes de um processo sustentável de desenvolvimento urbano (MATTOS, 2005).

Resumidamente, os indicadores usados na pesquisa revelam situações que podem ser enquadrados nos seguintes padrões:

Padrão 1: constatado em áreas em que predominam condições físicas propícias à ocupação urbana (baixa fragilidade/comportamento morfodinâmico estável) e onde esta vem ocorrendo há muito tempo. Abrigam população majoritariamente com boas condições de vida em termos socioeconômicos e bem-atendida por infra-estrutura urbana, o que contribui positivamente para a qualidade ambiental. Em contrapartida, a urbanização intensa a que estas áreas foram submetidas acarretou em grandes adensamentos populacionais e alta impermeabilização do solo, indicando uma saturação da capacidade de sustentação do subsistema físico-natural. Tal situação corresponde a maior parte das **Unidades 1 e 2A** e resulta numa qualidade ambiental apenas mediana, indicando que boas condições socioeconômicas e de infra-estrutura são necessárias, porém insuficientes para garantir uma qualidade ambiental satisfatória.

Padrão 2: verificado nas áreas em que predominam condições relativamente favoráveis à ocupação urbana (fragilidade moderada a baixa/comportamento morfodinâmico de estabilidade intermediária) e onde esta é de origem mais recente, fruto do processo de periferização de Campinas. Como reflexo deste processo, abriga população vulnerável em relação às condições socioeconômicas e de moradia, ocupando bairros isolados do tecido urbano, muitos deles com carências de infraestrutura e equipamentos públicos e em situação fundiária irregular (inclusive com a presença de favelas). Esta situação está presente na **Unidade 2B** e nas áreas urbanizadas da **Unidade 2C**. No caso da **Unidade 2B**, devido a este tipo de uso ser preponderante e como não se observa uma mobilização popular significativa para reverter a situação (conforme atestam os indicadores de resposta – Tabela 2), configura-se um quadro de baixa qualidade ambiental. Na **Unidade 2C**, a precariedade local das áreas urbanizadas não se reflete de modo expressivo na qualidade ambiental geral da unidade porque este tipo de uso é relativamente pequeno em relação à unidade como um todo, além de ser atenuada pelo fato da população estar buscando reivindicar melhorias nas suas condições de vida.

Padrão 3: ocorre em áreas com elevada fragilidade natural e tendência a comportamento morfodinâmico instável devido às altas declividade e dissecação do relevo, não adequadas ao uso urbano. Tais condições predominam nas **Unidades 3A, 3B, 3C e 3D**, nas quais ainda não se observa a presença de ocupação urbana nos topos convexizados e vertentes íngremes que predominam nestas unidades. Nas unidades onde ocorrem áreas urbanizadas (3A e 3B), esta ocupação se restringe aos fundos de vale e abrange bairros populares periféricos, com população de baixa renda. A presença de favelas às margens dos cursos d'água na unidade 3A contribui para a baixa qualidade ambiental aí constatada; enquanto na unidade 3B, a boa qualidade ambiental verificada se deve principalmente a uma ocupação urbana restrita e com boas condições de infra-estrutura e à predominância de áreas com remanescentes de mata. A situação de respeito à fragilidade natural que ainda é verificada para a maioria das áreas destas unidades se mostra bastante ameaçada: todas elas estão situadas em áreas de vazios urbanos que separam a região central de Campinas das regiões periféricas da cidade e/ou municípios vizinhos com altas taxas de crescimento populacional e expansão urbana, tornando-as, assim, sujeitas à ação de loteadores e especuladores imobiliários.

Padrão 4: presente em áreas com elevada fragilidade natural e tendência a comportamento morfodinâmico instável por se situarem em planícies e fundos de vales sujeitos a inundações, não adequadas ao uso urbano. No entanto, no alto curso da bacia – correspondentes às **Unidades 1 e 2A** – tais áreas de risco estão intensamente ocupadas e a elevada impermeabilização do solo tende a aumentar a intensidade e frequência dos eventos de enchentes (não apenas nessa região, mas também no médio e no baixo cursos). Embora haja população em diferentes situações socioeconômicas residindo nestas áreas de risco, a precariedade nas condições de vida e habitação dos moradores das favelas existentes na unidade 1 os tornam mais vulneráveis ao risco. Por se tratar de uma situação de exceção ao que ocorre na unidade 1, a baixa qualidade ambiental local destas favelas não influencia significativamente no resultado da qualidade final da unidade. Já nas unidades do médio e baixo cursos onde este tipo de ocupação é preponderante (casos, respectivamente, das **Unidades 3A e 4**), torna-se mais evidente o processo de exclusão/segregação socioespacial que caracteriza a urbanização não só da bacia do Piçarrão, mas de toda Campinas, e como esta afeta negativamente a qualidade ambiental: à população socialmente excluída sobram as áreas com características naturais impróprias à ocupação urbana (e, geralmente, afastadas do tecido urbano), gerando uma situação de baixa qualidade ambiental em que fragilidade natural e vulnerabilidade da população se reforçam mutuamente. Mesmo havendo mobilização da população e/ou proposições do poder público que refletem preocupações com este quadro (conforme sugerem os indicadores de resposta – Tabela 2¹¹), elas ainda não se reverteram em melhorias efetivas nesta situação.

CONCLUSÃO

A avaliação da qualidade ambiental da bacia do Piçarrão revela as conseqüências de um modo de urbanização regido por interesses econômicos privados em detrimento ao bem-estar da coletividade, processo que gera e reforça desigualdade e exclusão sociais (refletindo-se em segregação socioespacial e vulnerabilidades diferenciadas aos riscos naturais) e degrada o meio físico-natural. Como faces opostas e complementares desta forma de urbanização, verifica-se nas unidades ambientais da bacia do Piçarrão, de um lado, a saturação da capacidade de sustentação do subsistema físico-natural nas áreas em que este favorece a ocupação urbana – situação provocada principalmente pela impermeabilização elevada do solo e alta concentração populacional; do outro lado, constata-se que as áreas de maior fragilidade natural tendem a ser ocupadas preferencialmente pela população socialmente excluída e mais vulnerável aos riscos ambientais, alimentando uma dinâmica em que baixa qualidade de vida e baixa qualidade ambiental se reforçam mutuamente.

Esta situação não é uma exclusividade da bacia do Piçarrão: retrata o processo que dita a urbanização do município de Campinas e que se repete em outros grandes centros urbanos brasileiros. É justamente na superação deste quadro que reside o grande desafio – mas também a maior esperança – do paradigma da sustentabilidade para o ambiente urbano. E uma das formas de se mostrar seus limites e possibilidades é por meio da utilização de indicadores.

Para tanto, não se pode cometer o erro, atualmente bastante difundido nas políticas de vários setores, de tomar os indicadores como uma realidade em si mesmo. Tal procedimento metodológico deve ser empregado para aquilo que é útil: auxiliar no planejamento e tomada de decisão, apontando para os principais processos atuantes em determinado siste-

¹¹ Deve-se ressaltar que, em relação aos indicadores de resposta, não foi avaliado se a participação da população nas assembléias do Orçamento Participativo foi efetiva e nem se as prioridades definidas no O.P. e as diretrizes estabelecidas pelo Plano Diretor foram de fato implementadas.

ma. Nesse sentido, o paradigma da complexidade se configura como um modelo teórico fundamental para a elaboração e aplicação de indicadores de qualidade ambiental, pois estes passam a representar dados que permitem entender as inter-relações entre os subsistemas físico-natural e socioeconômico e avaliar a estabilidade (e, conseqüentemente, a sustentabilidade) do sistema ambiental.

REFERÊNCIAS

- AUYANG, S.Y. **Foundations of complex-system theories**: in economics, evolutionary biology, and statistical physics. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 404p.
- CARPENTER, S. *et al.* From metaphor to measurement: resilience of what to what?. **Ecosystems**, v.4, p.765-781, 2001.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 147p.
- CENDRERO, A. *et al.* Projeto Relesa-Elanem: uma nova proposta metodológica de índices e indicadores para avaliação da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.1, p.33-47, 2002.
- CHRISTOFOLETTI, A. Caracterização de indicadores geomorfológicos para a análise da sustentabilidade ambiental. **Sociedade & Natureza**, v.8, n.15, p.31-38, 1996.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.
- CUNHA, J.M.P.; OLIVEIRA, A.A.B. População e espaço intra-urbano em Campinas. In: HOGAN, D.J. *et al.* (Org.). **Migração e ambiente em aglomerações urbanas**. Campinas: Unicamp, 2001. p.351-393.
- GONDOLO, G.C.F. **Desafios de um sistema complexo à gestão ambiental**: bacia do Guarapiranga, região metropolitana de São Paulo. São Paulo: Annablume, 1999. 162p.
- HOGAN, D.J. *et al.* Urbanização e vulnerabilidade sócio-ambiental: o caso de Campinas. In: HOGAN, D.J. *et al.* (Org.). **Migração e ambiente em aglomerações urbanas**. Campinas: Unicamp, 2001. p.397-418.
- MATTOS, S.H.V.L. **Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP)**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2005. 118p.
- MATTOS, S.H.V.L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Goiânia, v. 1, p. 11-18, 2004.
- MONTEIRO, L. H.A. **Sistemas dinâmicos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2002. 527p.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD environmental indicators**: development, measurement and use. 2003. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>>. Acesso em 23 abr. 2006.
- PERRINGS, Charles. Ecological Resilience in the Sustainability of Economic Development. In: FAUCHEUX, S. *et al.* (Ed.). **Models of Sustainable Development**. London: Edward Elgar, 1996. p.231-252.

Recebido em maio de 2006

Aceito em junho de 2006