

Artigo Técnico

Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano

Digital cartography to estimate runoff for supporting urban planning

Franciane Mendonça dos Santos¹, José Augusto de Lollo¹

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Córrego Caçula, município de Ilha Solteira (SP, Brasil), e teve como finalidade estimar o potencial de escoamento superficial com base em metodologias de cartografia apoiadas em técnicas de tratamento digital de dados objetivando baixo custo e rapidez no processo de análise com vistas a subsidiar o planejamento urbano. O método de curva número (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), foi utilizado para determinação do potencial de escoamento superficial combinando informações de uso e ocupação do solo e tipos de solo presentes na bacia. As cartas de uso e ocupação foram produzidas por meio de imagens de satélite dos anos de 2001 e 2009, possibilitando considerar cenário passado e recente para verificar a influência das mudanças de uso do solo no escoamento superficial. Foi possível averiguar que as modificações no uso e na ocupação ocorridas no período resultaram em mudanças nos índices de escoamento superficial, particularmente em função do crescimento da área urbanizada e de plantio de cana-de-açúcar em substituição a pastagens. Os resultados mostraram forte influência do uso do solo nos valores de escoamento obtidos, e as mudanças de uso, sobretudo de pastagem para cultura de cana-de-açúcar, apontaram fortes variações nos valores obtidos. Em geral, os resultados permitiram avaliar potencialidades e limitações para a expansão urbana, indicando áreas carentes de estudos mais detalhados visando à solução de problemas locais.

Palavras-chave: escoamento superficial; degradação ambiental; planejamento urbano; Ilha Solteira.

ABSTRACT

The research was developed in Caçula Stream basin in Ilha Solteira (SP, Brazil), focusing on runoff estimation based on digital cartography in order to produce quick and low cost chart for supporting urban planning. The runoff curve number (CN) method, from Soil Conservation Service (SCS), was used for runoff estimation using land use and soil classes occurring in the area. Land use charts were produced by satellite imagery (2001 and 2009) to consider past and present scenarios and taking in account how land use changes controls runoff. It was observed that the use modifications happened in the period resulted in changes on runoff index, mainly because of the increasing of the urban area and pasture to sugar cane use substitution. Results show strong relationship between runoff and land use changes. In general, results allowed to predict potentials and constrains for urban expansion in the area, indicating specific areas which need detailed studies for local problems solve.

Keywords: runoff; environmental degradation; urban planning; Ilha Solteira.

INTRODUÇÃO

Por definição, o escoamento superficial é a parcela da precipitação que se desloca na superfície terrestre. A parcela restante da precipitação é evaporada diretamente para a atmosfera, infiltra-se no solo (e, eventualmente, volta à superfície, na qual evapora) ou ainda participa do metabolismo das plantas e evapora através de

suas folhas, em um processo denominado transpiração (BONETTI & MIRANDA, 1997).

Tucci (2001) salienta que a geração do escoamento superficial é determinada por variáveis e atributos físicos, destacando-se as características da precipitação e a capacidade de infiltração de água no solo. Nesse sentido, o escoamento superficial tem início

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) - Ilha Solteira (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Franciane Mendonça dos Santos - Rua Luiz Vaz de Toledo Piza, 222 - Jardim Lutfalla - 13560-520 - São Carlos (SP), Brasil - E-mail: fran.mendonca@hotmail.com

Recebido: 03/02/14 - **Aceito:** 18/02/16 - **Reg. ABES:** 130053

quando a intensidade de precipitação se torna maior do que a velocidade de infiltração da água no solo, ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno tiver sido ultrapassada, sendo considerado o principal responsável pelo rápido aumento da vazão após a ocorrência da precipitação. Associados ao escoamento, podem acontecer erosão, transporte e deposição de partículas do solo (GRIEBELER *et al.*, 2001).

Assim, o escoamento superficial está relacionado essencialmente às características climáticas e físicas da área, como intensidade e duração da precipitação, ao tipo de solo, à declividade do terreno e à cobertura vegetal (em função da vegetação natural e do uso e ocupação da terra). O relevo influencia também o armazenamento de água no subsolo (PRUSKI; RODRIGUES; SILVA, 2001). A cobertura vegetal atua na interceptação da precipitação, alterando o volume e a velocidade do escoamento, favorecendo a infiltração.

Mudanças no padrão de uso da terra, como a urbanização, afetam os processos hidrológicos (SURIYA & MUDGA, 2012), uma vez que alteram os atributos descritos anteriormente, podendo gerar remoção da cobertura vegetal, manejo inadequado dos solos, por conta de sua compactação, redução da permeabilidade e desagregação, favorecendo o escoamento e os processos erosivos, com conseqüente comprometimento da qualidade de água dos mananciais da bacia.

O trabalho teve por objetivo estimar o escoamento superficial potencial da Bacia Hidrográfica do Córrego Caçula, com base em técnicas digitais de tratamento de dados, de forma a fornecer subsídios ao planejamento urbano por intermédio de técnicas ágeis e de baixo custo.

Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Córrego Caçula situa-se no município de Ilha Solteira (SP), que pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 18, São José dos Dourados, na região noroeste do estado de São Paulo (Figura 1). A UGRHI 18 é definida por uma série de bacias hidrográficas de cursos d'água, a maioria de pequeno porte, que deságuam no reservatório formado no Rio Paraná pela barragem da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (SIGRH, 2012).

Ilha Solteira localiza-se entre os meridianos 51°00' e 51°30'W e os paralelos 20°15' e 20°45'S e apresenta população de 25.064 habitantes, dos quais 23.520 estão na área urbana, e área de unidade territorial de 656,225 km² (IBGE, 2012).

O crescimento populacional e a expansão da ocupação urbanas no município exigiram investimentos em infraestrutura para atender à população, o que potencializou a degradação do solo, previamente iniciada com as atividades pecuárias.

Tavares (2008) descreve o uso do solo no município como predominantemente pecuária (quase 87% da área), no entanto a expansão da indústria sucroalcooleira em parte do lugar, com plantio de cana-de-açúcar na área da bacia, criou novas condições de dinâmica hídrica na área, exigindo estudos atualizados.

De acordo com Cruz (2008), os córregos encontram-se praticamente desprovidos de mata ciliar, e a cobertura principal do solo é representada pelos campos antrópicos (pastagens) e pela agricultura.

O Córrego Caçula, objeto de estudo desta proposta, possui como um de seus afluentes um importante corpo d'água urbano que recebe a drenagem fluvial do município, o Córrego Sem Nome. Gonzaga *et al.* (2010) constataram problemas com a qualidade de água do recurso, fortemente influenciada pelo uso e pela ocupação do solo, com indícios de ligações clandestinas de esgoto doméstico, escoamento superficial urbano e fluxos provenientes da rede de drenagem urbana, além da ausência quase que total de mata ciliar nas áreas de preservação permanente (APPs), o que contribui diretamente para a degradação da qualidade de água do Córrego Caçula, situação que tende a piorar nos próximos anos com o aumento da população.

Atualmente, a Prefeitura de Ilha Solteira apresenta iniciativas com o intuito de melhorar a qualidade ambiental dessa bacia hidrográfica, como: projeto de captação de água fluvial e controle de erosão do município; desenvolvimento do Programa Estadual de Microbacia Hidrográfica, que vislumbra o acompanhamento de

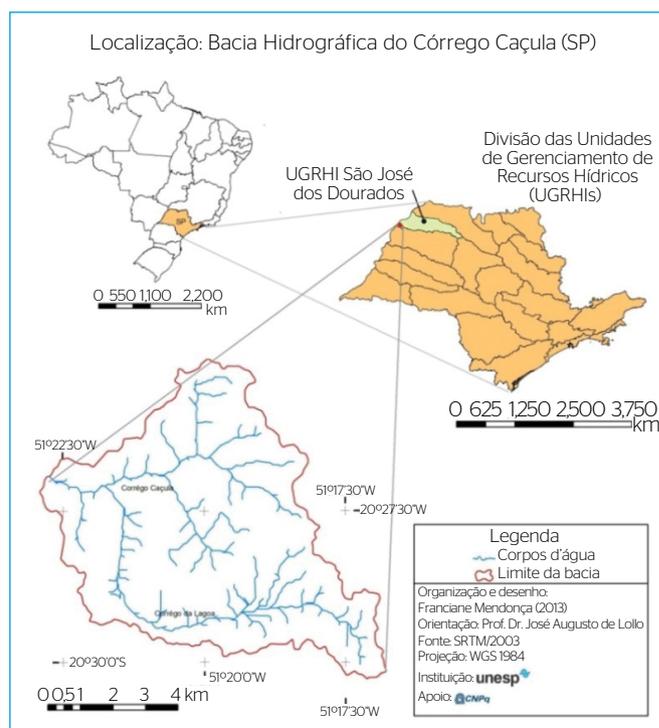


Figura 1 - Localização da área de estudo.

duas microbacias (Microbacia do Cinturão Verde e Microbacia do Córrego do Caçula); projeto de controle de voçoroca na Microbacia do Córrego do Caçula; além do projeto de financiamento Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fehidro) de terraceamento e recomposição da mata ciliar (PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2008).

A maioria dos projetos citados não tem resultado no controle esperado nos processos de degradação (erosão, particularmente), apenas porque tem desconsiderado os atributos do meio natural (geomorfológicos e hidrológicos), objeto desta investigação.

É possível observar que a ocupação da terra na área de estudo possui parte da população localizada próxima aos cursos d'água e suas nascentes por conta da expansão urbana, o que pode prejudicar a qualidade e a quantidade de água.

Método de curva número

Elaborado pelo United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service (USDA-SCS, 1972), o método curva número (CN) permite, com base no parâmetro curva número, identificar características referentes ao potencial de escoamento superficial nas diferentes superfícies (PICKBRENNER; PEDROLLO; RISSO, 2005). Segundo Tucci (1998), é o método de separação do escoamento mais conhecido e empregado em todo o mundo, por conta da sua fácil utilização e do reduzido número de parâmetros. Além disso, outro fator preponderante para sua escolha é a relação direta entre os parâmetros e as características da bacia. O modelo foi proposto para uma pequena bacia rural e, quando necessário subdividi-la em sub-bacias, poderá ser utilizado em conjunto com o modelo de Muskingum, que simula o escoamento em rios.

Ao propor a análise do uso e cobertura da terra com as características de solo, esse modelo possibilita a produção de informações sobre o escoamento superficial, sendo estas capazes de suprir a carência de dados hidrológicos existente em grande parte dos municípios brasileiros.

Para Tucci (1995), esse método aplica-se de maneira especial quando não se dispõe de dados hidrológicos. Há uma adaptação do

método para os solos de São Paulo, suficientemente abrangente para ser aplicado a solos de outros estados brasileiros. A fórmula proposta pelo SCS é representada pela Equação 1:

$$Q = \frac{(P - 0,25)^2}{P + 0,85}, P > 0,25 \quad (1)$$

Em que:

Q = escoamento superficial direto (mm);

P = precipitação total acumulada (mm);

S = capacidade máxima de armazenamento no solo (mm).

O valor de S depende do tipo de ocupação do solo e pode ser determinado facilmente por tabelas próprias. A quantidade de $0,2S$ é uma estimativa de perdas iniciais (A_i), por conta da interceptação e da retenção em depressões. Por essa razão, impõe-se a condição $p > 0,2S$.

Por meio da análise de mais de três mil tipos de solo com suas respectivas coberturas vegetais e plantações, pode-se estabelecer relação empírica entre a capacidade de armazenamento da bacia (S) e o índice CN (CANHOLI, 2005 *apud* SOUZA, 2008). Dessa forma, a seguinte mudança de variável é feita para facilitar a solução da Equação 2.

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25,4}} \quad (2)$$

Em que:

CN = curva número.

S = capacidade máxima de armazenamento no solo (mm);

Segundo Tucci (1998), essa expressão representa as condições de cobertura do solo, variando desde uma cobertura muito permeável até uma cobertura completamente impermeável, e de um solo com grande capacidade de infiltração para um de baixa infiltração.

O Quadro 1 apresenta os grupos hidrológicos de solo com a sua descrição em relação aos tipos de solo e às condições de uso, divididos em quatro grupos hidrológicos de solo: A, B, C e D.

Quadro 1 – Grupos hidrológicos de solo: tipos de solo e condições de uso.

Grupo	Tipos de solo e condições de uso
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, sem rocha nem camadas argilosas, ou mesmo densificadas, até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
B	Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com menos teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que nos solos do grupo B, no entanto ainda longe de condições de impermeabilidade.
D	Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como os do grupo B, mas com a camada argilosa quase impermeável, ou horizontes de seixos rolados.

A Tabela 1 permite a estimativa do parâmetro CN para áreas rurais (TUCCI, 1995), e a Tabela 2, a estimativa dos valores de CN para bacias urbanas e suburbanas (TUCCI, 1998), para cada um dos quatro grupos hidrológicos de solos.

METODOLOGIA

Carta de escoamento superficial

A carta de escoamento superficial fundamentada na metodologia CN (USDA-SCS, 1972) tem como princípio a determinação do parâmetro

Tabela 1 - Estimativa dos valores de curva número para áreas rurais.

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de níveis	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de níveis	62	74	82	85
	Terraceamento em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de níveis	60	72	81	84
	Terraceamento em nível	57	70	78	89
	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	94
Pastagem em curvas de nível	Boa	39	61	74	80
	Pobre	47	67	81	88
	Normal	25	59	75	83
Campos permanentes	Boa	6	35	70	79
	Normal	30	58	71	78
	Esparsa, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normal	36	60	73	79
Chácaras/estradas de terra	Densa, de alta transpiração	25	55	70	77
	Normal	56	75	86	91
	Ruim	72	82	87	89
Floresta	De superfície dura	74	84	90	92
	Muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsa	46	68	78	84
	Densa, alta transpiração	26	52	62	69
	Normal	36	60	70	76

curve number (CN), o qual é determinado utilizando-se informações de uso e ocupação da terra e de tipos de solo existentes na área.

O parâmetro CN varia desde uma cobertura muito permeável (valor = 0) até uma cobertura completamente impermeável (valor = 100). Para a determinação do CN, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento que possibilitaram o cruzamento das informações de uso e ocupação da terra e pedologia (Tabelas 1 e 2), com valores de CN para áreas urbanas e rurais.

A classificação dos tipos de solo obedeceu aos critérios estabelecidos na Quadro 1, em que, de acordo com o tipo de solo e as condições de uso, os tipos de solo são divididos em grupos hidrológicos. Dessa forma, primeiramente foram elaboradas, no *software* ArcGIS 10.0, as cartas com as informações referentes ao uso e à ocupação do solo e à pedologia.

O próximo passo foi a obtenção do parâmetro S, que representa a capacidade máxima de armazenamento no solo (mm), e pode ser obtido dos valores de CN, por intermédio da aplicação da Equação 2.

Para determinar o escoamento superficial (Equação 1), foi necessário definir a precipitação média mensal da bacia hidrográfica com base nos dados obtidos da estação meteorológica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) de Ilha Solteira. Os meses mais chuvosos compreendem outubro a março, e o cálculo da média desses valores de precipitação permitiu estabelecer

Tabela 2 - Estimativa dos valores de curva número para bacias urbanas e suburbanas.

Descrição do uso do solo		Tipo de solo			
		A	B	C	D
Espaços abertos: matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área		39	61	74	80
Matos cobrem 50 a 75% da área		49	69	79	77
Áreas comerciais (85% impermeáveis)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)		81	88	91	93
Áreas residenciais		Tipo de solo			
Tamanho do lote (m ²)	Área impermeável (%)	A	B	C	D
< 500	65	77	85	90	92
1.000	38	61	75	83	87
1.300	30	57	72	81	86
2.000	25	54	70	80	85
4.000	20	51	68	79	84
Parques e estacionamentos, telhados, viadutos		98	98	98	98
Arruamentos e estradas: asfaltadas e com drenagem pluvial		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

a precipitação a ser utilizada para o cálculo do escoamento superficial e potencial de infiltração, ou seja, 171 mm/mês.

Os dados foram manipulados no *software* ArcGis 10.0, tal como os cálculos inerentes desse processo. A Tabela 3 apresenta os valores de CN para a área de estudo, obtidos das informações presentes no Quadro 1 e nas Tabelas 1 e 2. Também são representados os valores de S e, por fim, os valores do escoamento superficial e potencial de infiltração, necessários para a espacialização em cartas.

Classificação do uso e da ocupação da terra

Para elaboração das cartas de uso e ocupação da terra, foram utilizadas imagens de satélite atuais e antigas da área de pesquisa, para verificação do cenário de uso e ocupação passado e futuro e das influências dessa modificação no escoamento superficial. Dessa forma, usaram-se os seguintes materiais:

- cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em escala 1:50.000 SF-22-C-II-3 (Ilha Solteira) e SF-22-C-IV-1 (Bela Floresta);
- imagem fusionada CBERS do sensor da câmera imageadora de alta resolução (CCD) (21 de dezembro de 2009) e CBERS 2B do sensor da câmera pancromática de alta resolução (HRC) (8 de setembro de 2008), resolução espacial de 2,5 m, para identificação dos usos e da ocupação da Bacia Hidrográfica do Córrego Caçula por meio de formas, textura e cor, mediante técnicas de sensoriamento remoto;
- imagem Landsat 7 ETM+, órbita 222, ponto 74, de 12 de agosto de 2001;
- programa ArcGis 10.0: Sistema de Informação Geográfica (SIG) com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

As imagens CBERS e Landsat foram disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Para a classificação recente do uso e da ocupação da terra, foram utilizadas imagens CBERS do ano de 2009, pois não havia imagens mais recentes da área de pesquisa disponíveis. Do mesmo modo, para a classificação referente ao passado, usaram-se imagens Landsat de 2001, ano em que foram obtidas imagens mais antigas da bacia hidrográfica.

A técnica adotada para fazer a fusão das imagens CBERS CCD e CBERS HRC foi a transformação intensidade, matiz e saturação (IHS), com o objetivo de melhorar a qualidade visual dos alvos da superfície terrestre. No *software* ArcGis 10.0, as imagens foram restauradas de 20 para 10 m e depois para 2,5 m, com a finalidade de obter a mesma resolução espacial da HRC. Em seguida, realizou-se o processo de fusão entre as imagens CCD e HRC por meio da transformação *red green blue-intensity hue saturation* (RGB-IHS) e IHS-RGB. No sistema IHS, as cores são representadas mediante três componentes: intensidade (*intensity* – I), matiz (*hue* – H) e saturação (*saturation* – S), as quais definem respectivamente o brilho, a cor e a saturação, que é a qualidade da cor presente. A transformação do espaço RGB para IHS gera composições coloridas em que há menor correlação entre as bandas, permitindo mais aproveitamento das cores.

A transformação IHS tornou-se um dos métodos mais utilizados no fusão de imagens, com a finalidade de melhorar a resolução espacial ou fundir imagens de diferentes sensores. Essa técnica permite isolar a informação espectral contida em três bandas para dois canais, o da saturação e o do matiz. O brilho da cena é isolado no canal intensidade, em que pode ser substituído por outra banda de melhor resolução. Assim, a imagem final terá as propriedades de ambos os conjuntos de dados e possuirá melhor resolução espacial dos dados (NOVO, 2008).

Tabela 3 – Valores de curva número para Bacia Hidrográfica do Córrego Caçula.

Classe	CN		S (mm/mês)		Escoamento superficial (mm/mês)	
	Solo B - PVA	Solo C - LV	Solo B - PVA	Solo C - LV	Solo B - PVA	Solo C - LV
Agricultura	76	84	76	52	104,72	121,32
Água	100	100	0	0	171	171
Asfalto	98	98	5	5	165,14	165,14
Mata e vegetação natural	68	78	119	72	81,4	107,28
Pastagem	67	75	125	60	78,66	115,44
Preparo para o plantio e solo exposto	67	81	63	38	113,33	132,57
Telhado	98	98	5	5	165,14	165,14

CN: curva número; S: capacidade máxima de armazenamento no solo; PVA: argissolo vermelho amarelo; LV: latossolo vermelho amarelo.

A técnica empregada para a classificação das imagens foi a classificação supervisionada. Esse processo consiste na extração de amostras de *pixel* (valor ND) que representem o tipo de alvo de interesse na imagem, permitindo que o *software* cometa menos erros no processo de classificação automática.

Na classificação supervisionada, definem-se primeiramente as assinaturas espectrais das categorias utilizadas na classificação, tais como a área urbanizada, a pastagem ou os corpos d'água. Em seguida, usando um *software* para o processamento digital de imagem, associa-se a cada *pixel* a assinatura espectral mais similar. A classificação supervisionada compreende os seguintes passos:

- localizar exemplos representativos de cada tipo de cobertura que pode ser identificado na imagem (definição das áreas de treino);
- digitalizar polígonos em torno de cada área de treino, atribuindo um único identificador para tipo de cobertura;
- analisar os *pixels* contidos nas áreas de treino e criação de assinaturas espectrais para tipo de cobertura;
- classificar toda a imagem, considerando cada *pixel* individualmente, comparando a sua assinatura particular com cada uma das assinaturas conhecidas.

A preferência pela classificação supervisionada deu-se porque nos testes realizados com a classificação não supervisionada (em que são agrupados os *pixels* segundo as suas características espectrais sem a influência do intérprete) os resultados não foram adequados aos reconhecimentos das classes de uso de interesse.

A classificação não supervisionada apresentou confusão, por exemplo, ao classificar agricultura e pastagem, solo exposto e asfalto, o que não ocorreu com a classificação supervisionada, pela qual foi obtida uma classificação mais fiel do uso e da ocupação da terra.

Pedologia

As classes de textura e gênese dos materiais inconsolidados verificadas na área de estudo consistem em latossolo vermelho amarelo (LV) e argissolo vermelho amarelo (PVA).

Os solos LV são considerados estáveis e bem desenvolvidos, possuem normalmente grande profundidade, são homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural (necessitam correções químicas para aproveitamento agrícola). Esses solos também apresentam problemas físicos com limitações quanto à permeabilidade restrita (elevada coesão dos agregados, pois o solo é muito duro quando seco) e lenta infiltração de água. Quando utilizados para lavouras ou pastagens, apresentam alta erodibilidade (EMBRAPA, 2006).

Os solos PVA são bem drenados e uma das suas principais características é o aumento de argila no horizonte superficial A para o sub-superficial B. A sua profundidade é variável, mas em geral esses solos são pouco profundos.

Segundo o Quadro 1, que estabelece os grupos hidrológicos de solo de acordo com os tipos de solo e as condições de uso, os solos da região estudada são classificados em tipos C e B. O grupo hidrológico B é representado pelos solos LV, e o grupo hidrológico C, pelos solos PVA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cartas de uso e ocupação da terra

A caracterização de uso e ocupação da terra teve como objetivos identificar os tipos de uso dados à bacia hidrográfica, constatados atualmente com imagens de satélite do ano de 2009, e comparar tal averiguação com a carta de uso e ocupação do solo elaborada com imagens de 2001. Essa comparação permitiu verificar as possíveis modificações e sua influência com o escoamento superficial e os processos de degradação associados.

A carta de uso e ocupação da terra de 2001, representada pela Figura 2, apresenta cinco classes identificadas de uso e ocupação da terra: agricultura perene e temporária; área urbanizada; mata e vegetação natural; pastagem; e preparo para o plantio e solo exposto.

A carta de uso e ocupação da terra de 2009 (Figura 3) contém seis classes identificadas de uso e ocupação da terra: agricultura perene e temporária; asfalto; telhado; mata e vegetação natural; pastagem; e preparo para o plantio e solo exposto.

A classe área urbanizada da carta de uso e ocupação da terra de 2001 não foi detalhada em asfalto e telhado, como na carta de uso e ocupação da terra de 2009, pelo fato de os níveis de detalhes da imagem utilizada não permitirem tal especificação na classificação supervisionada.

Carta de grupo hidrológico de solos

Na carta de grupo hidrológico de solos, apresentada na Figura 4, observa-se a presença do solos LV (grupo hidrológico C) na parte norte da bacia. Em contrapartida, os solos PVA (grupo hidrológico B) são encontrados ao sul, com uma pequena área na parte nordeste.

Escoamento superficial

As cartas escoamento superficial e valores CN de 2001 e 2009 (Figuras 5 e 6, respectivamente) tiveram como base a metodologia SCS. Esse método permite estimar o máximo potencial de retenção na bacia com a determinação do parâmetro CN. Tal índice está associado às condições de uso e ocupação da terra, ao tipo

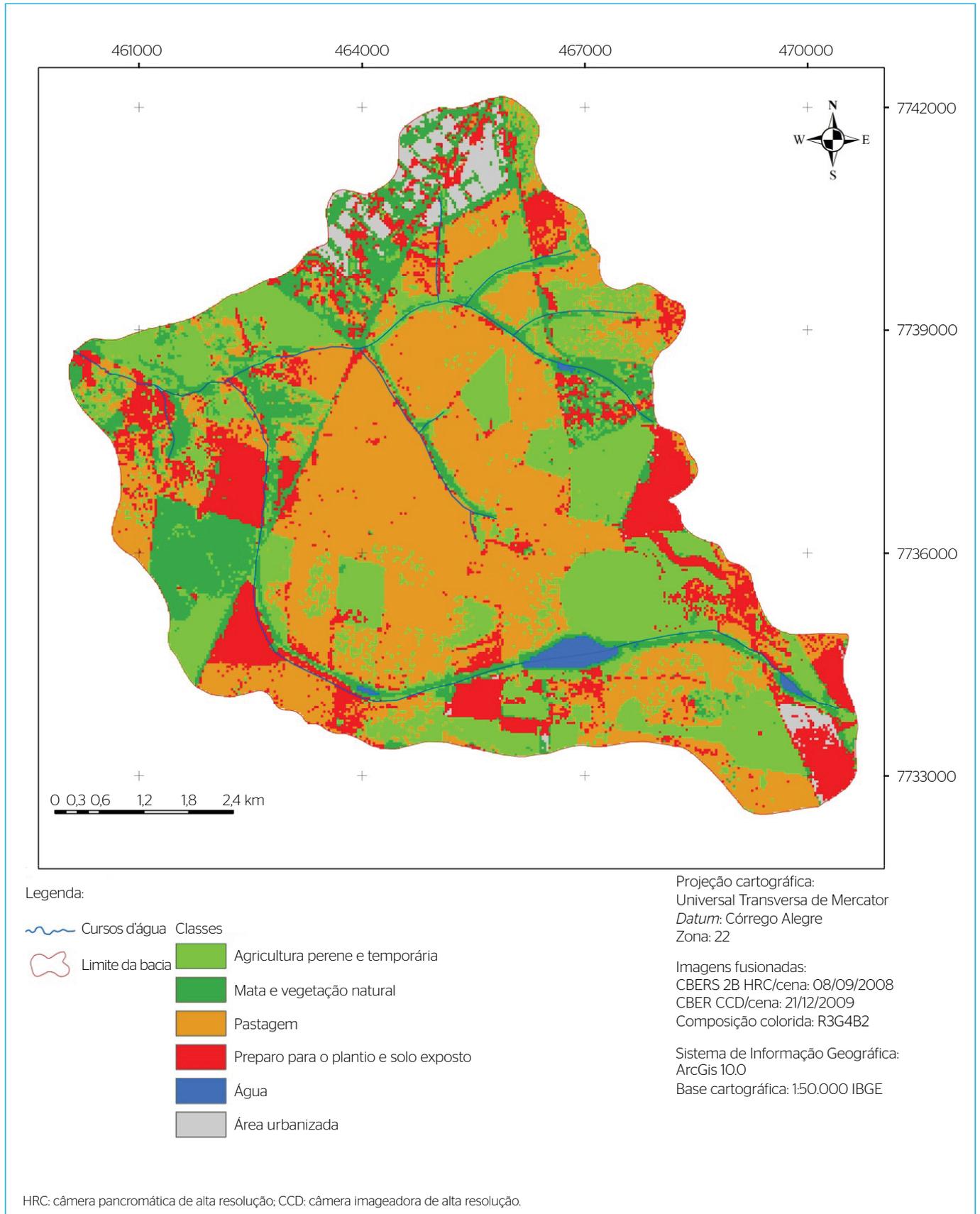


Figura 2 - Cartas de uso e ocupação da terra, de 2001.

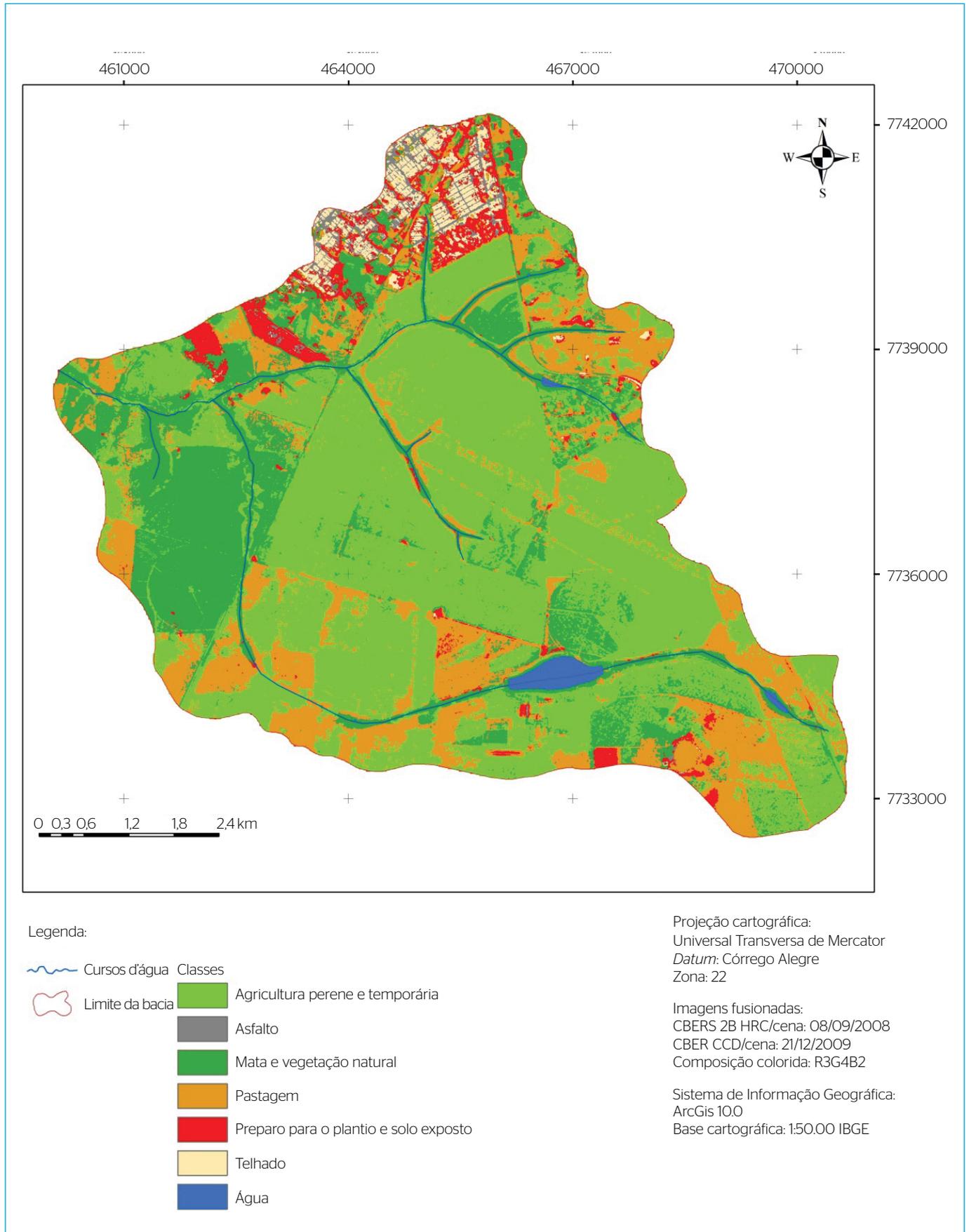


Figura 3 - Cartas de uso e ocupação da terra, de 2009.

hidrológico do solo e à umidade antecedente. Seu valor pode variar entre 0 e 100, visto que, quanto maior o valor, maior será o escoamento superficial.

Com essa carta e a obtenção dos valores da capacidade máxima de saturação (determinados por meio da precipitação média mensal da bacia), foi possível a elaboração da carta de potencial escoamento superficial.

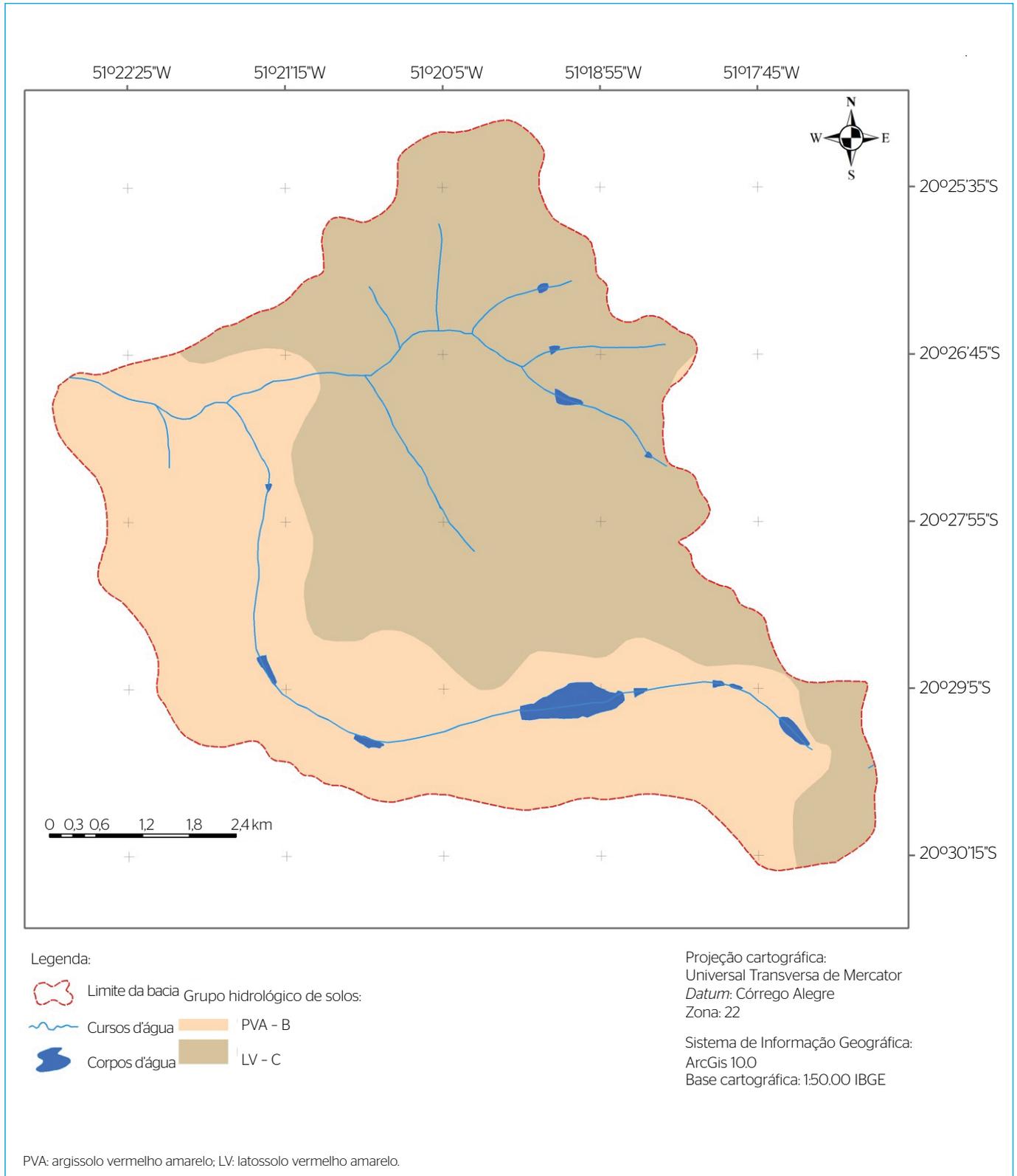


Figura 4 - Carta de grupo hidrológico de solos.

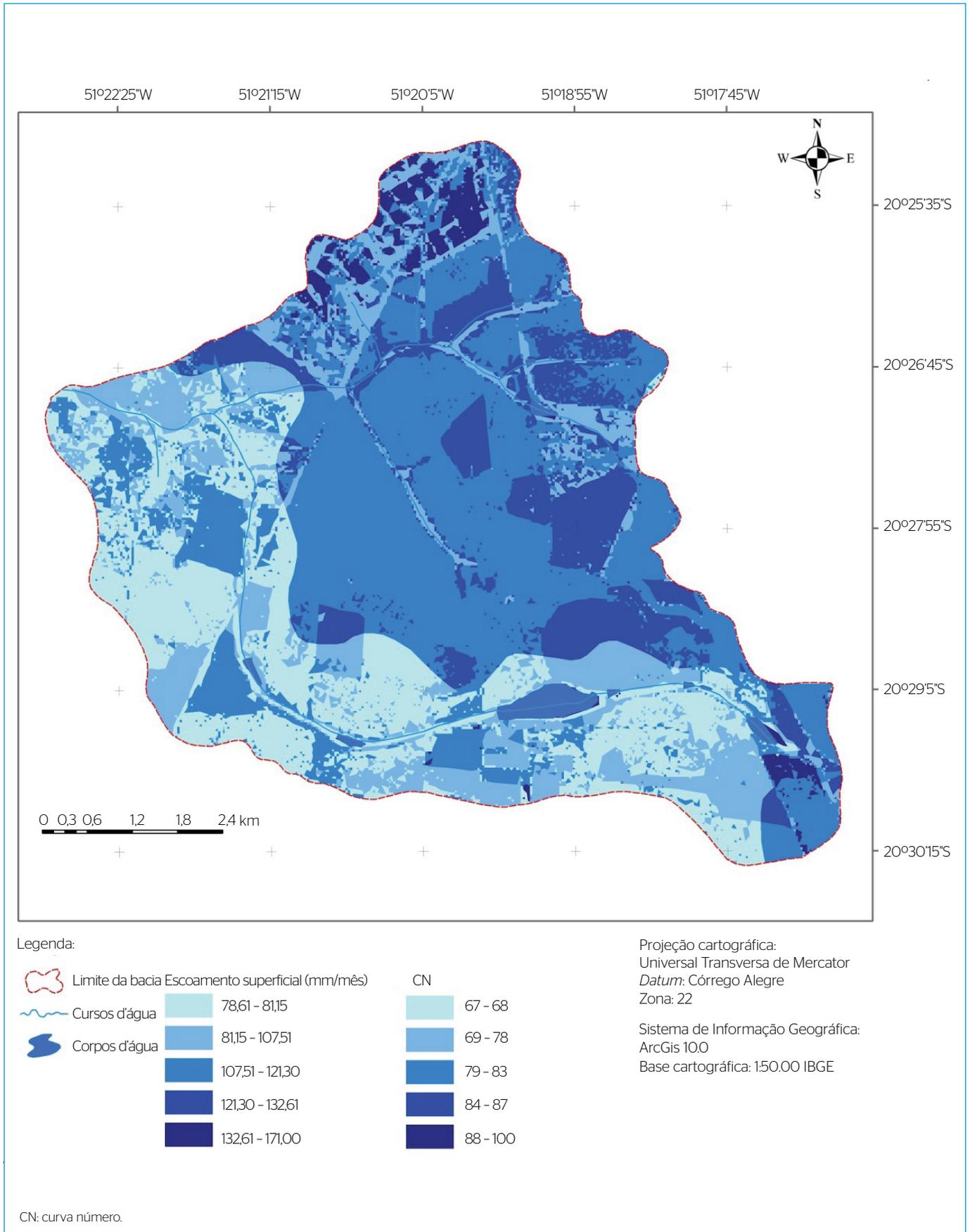


Figura 5 - Cartas de escoamento superficial e valores de curva número, de 2001.

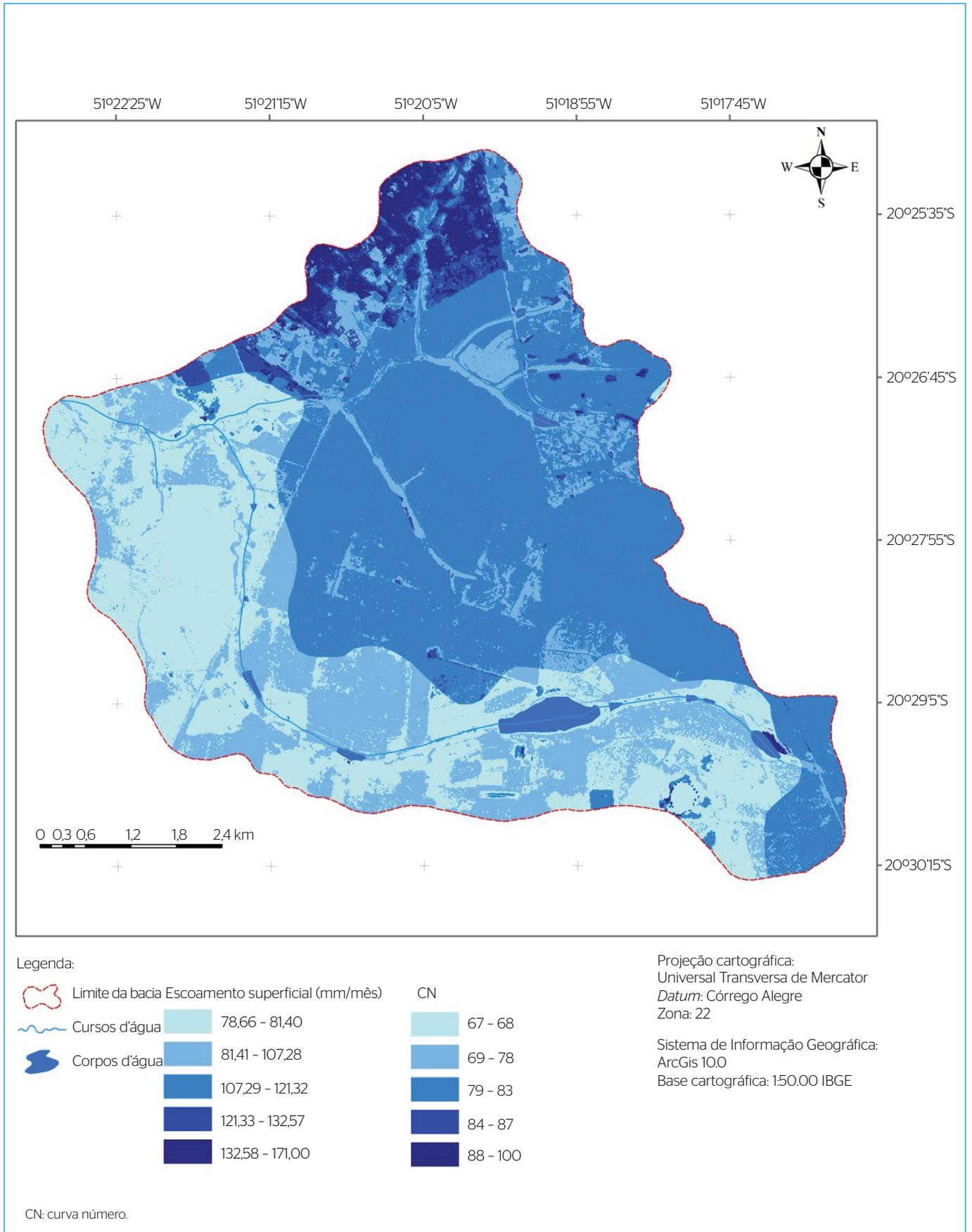


Figura 6 - Cartas de escoamento superficial e valores de curva número, de 2009.

CONCLUSÕES

As diversidades apresentadas na carta de escoamento superficial são provenientes dos tipos de ocupação associados aos tipos de solo da região. Nas áreas com maior índice de asfalto e telhados, ou seja, na área urbana da bacia, os valores de CN foram elevados, constituindo os locais com maior escoamento superficial, com valores que variaram de 132 a 171 mm/mês de escoamento superficial.

Em contrapartida, nas áreas com predomínio de vegetação foram verificados os menores valores de CN, ou seja, menor escoamento superficial, com valores que giraram em torno de 81,41 a 121,32 mm/mês, no ano de 2009, e de 81,15 a 121,30 mm/mês, em 2001.

Em relação aos tipos de solo, há uma divisão visível nas cartas. Os valores mais altos de CN e escoamento superficial foram achados nas áreas da bacia de solos LV (grupo hidrológico C). Por sua vez, constataram-se os valores menores de CN em solos PVA (grupo hidrológico B).

Na carta de escoamento superficial de 2001, viu-se que áreas com menor escoamento superficial estão na região norte da bacia (isso ocorre por conta do aumento da área urbanizada em nascentes e fundos de vale, o que pode ser observado na carta de uso e ocupação da terra). A urbanização acarreta a impermeabilização do solo, diminui o potencial de infiltração natural do solo e aumenta, conseqüentemente, o processo de escoamento superficial.

Outra modificação relevante entre as duas cartas está na substituição das áreas de pastagem, expressivas no ano de 2001, por áreas com agricultura perene e temporária. Essa mudança influencia no processo de escoamento superficial, uma vez que se pode observar que essas áreas, em 2001, tiveram maior escoamento superficial que em 2009, quando o escoamento superficial analisado indicou valores menores.

Esse fato pode ser justificado pela expansão e intensificação do cultivo de cana-de-açúcar na região principalmente no que tange os últimos dez anos, de acordo com estudos de Palla *et al.* (2011). No município de Ilha Solteira, a expansão da lavoura canavieira tem sido apontada como responsável pela redução das áreas de pastagem e também pela degradação da vegetação nativa, pois em alguns locais esse cultivo é realizado em APPs.

A substituição de áreas de solo exposto apresentadas em 2001 com altos valores de escoamento superficial por agricultura perene e temporária e pastagem também alterou os índices de escoamento superficial, que demonstraram menores valores de escoamento superficial no ano de 2009.

O método SCS mostrou resultados favoráveis, tendo em vista que as áreas classificadas conforme o escoamento superficial foram bem representadas e condizem com a realidade local. O ArcGis 10.0 permitiu a análise das informações obtidas por meio da manipulação e representação das variáveis.

A utilização das classes de uso e ocupação do solo como uma das variáveis que possuem peso significativo na representação e definição

da dinâmica de escoamento e infiltração na bacia possibilita influir sobre possíveis mudanças no uso e as conseqüências de tais mudanças nesses processos.

As áreas diagnosticadas com taxas baixas de escoamento superficial devem ter os recursos naturais explorados com consciência, para evitar a degradação dessas áreas, e isso precisa ser destacado para um futuro planejamento territorial.

As regiões consideradas com taxas média e alta de escoamento superficial são ocupadas principalmente por agricultura perene e temporária e, em grande parte, utilizadas para cultura de cana-de-açúcar. Nessas áreas é recomendado que sejam construídos os terraços em nível para contenção do escoamento superficial da água das chuvas. Para controlar e evitar os processos erosivos, os usos que são recomendados incluem implantação de plantio direto, cultura em faixas, rotação de culturas e faixas de vegetação nativa no meio dos canais. Por intermédio de práticas conservacionistas que mantenham a cobertura do solo, os processos erosivos e o transporte de sedimentos para os cursos d'água serão evitados.

Nas áreas tidas como com altos valores de escoamento superficial ocorre a expansão urbana. Porém, para um futuro planejamento territorial, deve-se investir em preencher os vazios urbanos, de modo a evitar a ocupação indevida de outras áreas. Essas regiões possuem baixo potencial de infiltração, e sugere-se aplicar medidas não estruturais e estruturais para minimizar o impacto do escoamento superficial da água das chuvas que possibilitam enchentes e prejudicam a qualidade de vida da população. Essas medidas incluem: educação ambiental em toda a bacia hidrográfica, mapas de inundação para evitar a ocupação dessas áreas, práticas agrícolas corretas e reflorestamento da bacia.

As APPs devem ser protegidas de acordo com a legislação, contudo em muitos trechos dos córregos da bacia elas são inexistentes ou aparecem fragmentadas, o que contribui para o assoreamento dos rios e para a poluição da rede de drenagem. Essas áreas devem ser conservadas e protegidas, a fim de evitar esses processos de degradação. Para isso, recomenda-se um trabalho em conjunto com os produtores rurais, com o objetivo de orientar a necessidade de implantação das APPs. Isso pode ser realizado concomitantemente com a educação ambiental em escolas, igrejas e associações comunitárias, para explicação da importância do manejo integrado da bacia hidrográfica.

Dessa forma, esse método contribui para o planejamento territorial, podendo ser utilizado para determinar usos que mais se adaptem à área de pesquisa, por meio da junção das características naturais da área e das atividades antrópicas, podendo evitar assim processos de degradação do meio físico, tais quais erosões e assoreamento, bem como enchentes, que afetam a qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

- BONETTI, F.J. & MIRANDA, L.B. (1997). Estimativa da descarga de água doce no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 45, n. 2, p. 89-94.
- CRUZ, S.P. (2008). *Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo usando geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas: área urbana de Ilha Solteira (SP)*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. (2006). *Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ)*. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI.
- GONZAGA, M.L.; CARVALHO, A.G.B.M.; LOLLO, J.A.; MATSUMOTO, T. (2010). Uso e ocupação do solo e qualidade da água de mananciais superficiais: córrego sem nome, Ilha Solteira (SP). In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7*, 2010, Maringá. Anais... Maringá. CD-ROM. p. 1-15.
- GRIEBELER, N.P.; PRUSKI, F.F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D.D. (2001). Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 2, p. 411-417.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2012). *Dados demográficos e econômicos: município de Ilha Solteira*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=352044>>. Acesso em: 5 mar. 2013.
- NOVO, E.L.M. (2008). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Blucher.
- PALLA, G.O.; SILVA, G.N.R.; SILVA, H.R.; MARQUES, A.P.; HOLANDA, H.V.; ASTOFI, T.B.; ZOCOLER, J.V.S.; CÉZAR, F.R.G. (2011). Potencial de expansão da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no município de Ilha Solteira/SP. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 15, Curitiba, 2011. Anais... Curitiba: INPE. p. 4.218-4.224.
- PICKBRENNER, K.; PEDROLLO, M.C.; RISSO, A. (2005). Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do Rio Criciúma. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 16., João Pessoa, 2005. Anais... Porto Alegre: ABRH. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/pa/Determinacao%20do%20CN%20utilizando%20geoprocessamento.pdf>>. Acesso em: 20 out. 012.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA. (2008). *Lei complementar n.º 151, de 1.º de julho de 2008*. Institui o Plano Diretor do Município de Ilha Solteira, cria o Conselho da Cidade e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.ilhasolteira.sp.gov.br/planodiretor/images/Leic-151.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- PRUSKI, F.F.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, D.D. (2001). Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 2, p. 301-307.
- SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO - SIGRH. (2012). *Comitê de Bacia Hidrográfica do São José do Dourados*. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 21 abr. 2012.
- SOUZA, T. F. (2008). *Drenagem urbana sob cenários de longo prazo visando incentivos ambientais*. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SURIYA, S. & MUDGA, B.V. (2012). Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed - a case study. *Journal of Hydrology*, v. 412-413, n. 1, p. 210-219.
- TAVARES, A.B. (2008). Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo utilizando geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas: área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP). Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- TUCCI, C.E.M. (1995). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS/ABRH. 428 p.
- TUCCI, C.E.M. (1998). *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 669p.
- TUCCI, C.E.M. (2001). Escoamento superficial. In: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH. p. 391-441.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE-SOIL CONSERVATION SERVICE - USDA-SCS. (1972). *National engineering handbook, hydrology section*. Washington, D.C.: USDA-SCS.