

CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COM USO DE GEOPROCESSAMENTO

Cláudio Bielenki Júnior¹; José Pedro Zuffo Janducci²; Matheus Caruso Parizotto³; Marcelo Mareco da Silva Marques⁴; Raphael Ricardo Zepon Tarpani⁵ & João Luiz Boccia Brandão⁶

RESUMO --- O presente trabalho tem como objetivo principal descrever metodologias e técnicas para elaboração de um SIG voltado à caracterização de uma bacia hidrográfica, obtendo dados tais como área superficial, topografia, declividades, rede de drenagem, uso e ocupação do solo, etc. Para tanto, foram utilizados bases de dados disponíveis sem custo de aquisição e um software de geoprocessamento igualmente disponível sem custos para os usuários. A metodologia foi empregada na bacia do ribeirão da Onça afluente do rio Jacaré-Guaçu que deságua no rio Tiête pela margem direita. Essa bacia localiza-se na região central do estado de São Paulo, dentro do município Brotas. Como resultado das técnicas empregadas, foram gerados mapas contendo rede de drenagem, curvas de nível e divisor de águas, classes de declividades, mapa de uso e ocupação do solo. O SIG elaborado constitui uma ferramenta de embasamento para a gestão e conservação de recursos naturais, em especial a água, assim como para avaliação da duração, magnitude e reversibilidade das alterações causadas pela atividade humana no meio ambiente.

ABSTRACT --- The present paper is aimed to describe and apply methodologies and techniques to develop a GIS devoted to the characterization of a water-basin, generating data such as superficial area, topography characterization, terrain and river slopes, drainage network, land-use patterns, etc. Therefore, free-ware available databases and a GIS software had been used. The methodology was applied to the Onça creek watershed, a tributary of the Jacaré-Guaçu river, which is an affluent of the Tiête river by its right bank. The basin is located in central part of the state of São Paulo, inside the municipality of Brotas. As a result of the study, maps had been generated containing drainage network, topographic contour lines and watershed divide, classes of terrain slopes, land-use maps. The derived GIS constitutes a base tool for the management and conservation of natural resources, in special for water resources, as well as for evaluation of duration, level and reversibility of alterations caused for anthropic activity over the environment.

Palavras Chave: geoprocessamento, bacias hidrográficas, conservação de recursos hídricos.

¹ Esp. Geoprocessamento, DECIV UFSCar, Rod Washington Luis Km 235 São Carlos-SP, E-mail: bielenki@tufscar.br

² Graduando em Engenharia Ambiental EESC-USP, Al. das Crisandálias, 509 São Carlos-SP, E-mail: zuffojanducci@yahoo.com.br

³ Graduando em Engenharia Ambiental EESC-USP, R. Alvarenga Peixoto, 371 Apto 22 BL 1 São Carlos-SP, E-mail: math_caruso@yahoo.com.br

⁴ Graduando em Engenharia Ambiental EESC-USP, Al. das Crisandálias, 509 São Carlos-SP, E-mail: mmareco@hotmail.com

⁵ Graduando em Engenharia Ambiental EESC-USP, R. Jesus Blanco Nunes, 503 São Carlos-SP, E-mail: tarpani@gmail.com

⁶ Professor doutor da EESC-USP, SHS, Av. Trabalhador São-carlense 400, 13566-590 São Carlos-SP, E-mail: jlbb@sc.usp.br

INTRODUÇÃO

Dentre as atividades desenvolvidas pelos profissionais das áreas ambientais e de recursos hídricos está a avaliação da duração, magnitude e reversibilidade das alterações causadas pela atividade humana no meio ambiente. Nesse contexto é de fundamental importância a gestão e a conservação de recursos naturais, em especial a água que é um elemento essencial à vida em todas as suas formas.

O manejo dos recursos hídricos compreende as ações que visam garantir os padrões de quantidade e qualidade das águas subterrâneas e superficiais dentro de uma unidade de conservação e de gerenciamento que é a bacia hidrográfica.

Para o estudo da bacia hidrográfica e o entendimento das interações entre os seus diversos componentes e as ações antrópicas se faz necessário, antes de tudo, uma caracterização de seus parâmetros físicos, tais como área superficial, topografia, declividades, rede de drenagem, tipologia do uso e ocupação do solo, etc.

Com o avanço acelerado das tecnologias na área de informática e a possibilidade de utilização de equipamentos mais eficientes a um custo acessível, os sistemas de informações geográficas e a cartografia digital tornaram-se ferramentas importantes no tratamento de dados especializados. As bases cartográficas utilizadas nos estudos ambientais garantem a precisão e as análises espaciais tornaram-se viáveis.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é descrever as metodologias e técnicas para elaboração de um SIG voltado à caracterização de uma bacia hidrográfica, através das bases de dados disponíveis sem custo de aquisição e utilizando-se de um software de geoprocessamento igualmente disponível sem custos para os usuários. Dessa forma, pretende-se contribuir para a difusão dessas técnicas no meio acadêmico e profissional.

METODOLOGIA

A seguir, são apresentadas a metodologia e as técnicas desenvolvidas para a implantação do SIG voltado para a caracterização geográfica de uma bacia de drenagem.

Software utilizado

Nesse trabalho foi utilizado o software SPRING, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e outras instituições de pesquisa.

O SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um banco de dados geográfico de segunda geração, desenvolvido para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e sem limitações de escala, projeção e fuso, mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais, e realiza a integração de dados de sensoriamento remoto em um SIG;
- É capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variam desde microcomputadores a estações de trabalho de alto desempenho.

O SPRING é baseado em um modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas a sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações. Projetado para a plataforma RISC e interface gráfica padrão OSF Motif, o SPRING apresenta documentação on-line, escritas em português, facilitando extremamente sua utilização e suporte.

Outra característica, considerada extremamente importante, é o fato da base de dados ser única, isto é, a estrutura de dados é a mesma para um microcomputador (IBM-PC) e uma máquina RISC (Estações de Trabalho UNIX), não havendo necessidade alguma de conversão de dados. O mesmo ocorre com a interface, que é exatamente a mesma, não existindo diferença no modo de operar o produto SPRING.

O produto SPRING está estruturado em três módulos: "Impima", "Scarta" e "Spring"; com o objetivo de facilitar seu uso, compartimentando as funções.

O módulo "Impima" é utilizado somente para se obter uma imagem no formato GRIB, através da leitura de imagens adquiridas a partir dos sensores TM/LANDSAT-5, HRV/SPOT e AVHRR/NOAA, ou imagens nos formatos TIFF, RAW e SITIM.

No módulo "Spring", estão disponíveis as funções relacionadas à criação, manipulação de consulta ao banco de dados, funções de entrada de dados, processamento digital de imagens, modelagem numérica de terreno e análise geográfica de dados. É o módulo principal de entrada, manipulação e transformação de dados geográficos. As funções da janela principal do SPRING estão

divididas em várias opções na barra de menus. Para cada opção há um menu associado com operações específicas.

O módulo "Scarta" apresenta funções para que um mapa gerado no módulo principal SPRING possa ser apresentado na forma final de um documento cartográfico. Estão disponíveis opções para editar uma carta e gerar um arquivo para impressão.

O usuário tem a opção de editar textos, símbolos, legendas, linhas, quadros e grades em coordenadas planas ou geográficas. Permite a exibição de mapas em várias escalas, no formato varredura ou vetor.

Baseado nessas características o SPRING tem se mostrado uma opção altamente atrativa na área de geoprocessamento, pois passa a ser considerado um software de domínio público.

Aquisição de cartas e imagens de satélite

Para a execução das atividades propostas nesse trabalho foram necessárias uma carta digital (formato TIFF) obtida no sítio do IBGE (www.ibge.gov.br) e uma imagem digital (formato TIFF) de satélite CBERS II, retirada gratuitamente do catálogo de imagens do sítio <http://www.cbers.inpe.br>. Ambas incluindo a área de interesse (bacia do ribeirão da Onça).

A carta obtida do IBGE possui as seguintes características: escala 1:50.000, equidistância de curvas de níveis de 20 metros, hidrografia e levantamento de uso e ocupação relativo à data da carta (1971).

Quanto à imagem de satélite foram adquiridas as bandas CCD 2, 3 e 4 do satélite CBERS II que representam respectivamente, as seguintes faixas espectrais: 0,45 - 0,52 μm (azul), 0,52 - 0,59 μm (verde) e 0,63 - 0,69 μm (vermelho).

Para um melhor e mais rápido processamento nas etapas seguintes, foram feitos recortes na carta e na imagem de satélite abrangendo a área de interesse. Quando do recorte da imagem é necessária atenção para que seja feito o mesmo recorte em cada banda (mesmas coordenadas de pixel linha x coluna).

Adequação de dados para o uso no SPRING

Como a imagem a ser manipulada está no formato TIFF, utiliza-se o módulo "Impima" do SPRING para ler a imagem e convertê-la para o formato GRIB, podendo esta ser importada pelo módulo "Spring". No Impima deverá ser definida a resolução espacial de cada imagem (carta e imagem de satélite).

No caso da imagem de satélite, a resolução espacial depende do sensor utilizado. Para o CCD CBERS II, a resolução é de 20 metros.

Para a carta, a resolução dependerá da resolução digital da carta (no caso da carta IBGE é de 200 DPI) e também da escala (1:50.000). Considerando que a quadrícula cartográfica tem dimensão de 4,00 cm e equivale a 2 Km na carta de 1:50.000, tem-se como resolução espacial aproximadamente 6,35 m.

Registro

Registro é uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um mapa. Essa transformação minimiza as distorções existentes na imagem causadas no processo de formação desta, pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (scanner, aeronave ou satélite).

O registro de uma imagem é necessário para a integração de imagens obtidas por sensores diferentes, análise temporal de imagens obtidas em tempos diferentes, obtenção de informação tridimensional de imagens tomadas em posições diferentes e geração de mosaico de imagens.

Para a realização do registro, é necessário escolher pontos de controle, como feições facilmente identificáveis na imagem e na carta (posições conhecidas), definir a equação de mapeamento, além de escolher o processo de interpolação (vizinho mais próximo, bilinear ou convolução cúbica) responsável pela re-amostragem dos pixels.

Os pontos de controle devem ser escolhidos de forma a obter um conjunto bem distribuído sobre a área de interesse. Eles podem ser inseridos em coordenadas planas ou geográficas, associadas a um determinado sistema geográfico de referência. Obtidos os pontos de controle, eles devem ser selecionados de forma a se obter o melhor ajuste possível.

Para o registro da carta, são utilizados como pontos de controle os vértices das quadrículas, os quais possuem coordenadas conhecidas, que são inseridas via teclado. No SPRING, esse método de registro é denominado “via teclado”.

Já para o registro da imagem, os pontos de controle podem ser obtidos em tela, utilizando a carta já referenciada presente no banco de dados. Nesse caso, os pontos devem ser definidos por feições identificáveis, como entroncamento de rios, cruzamento de estradas, e outros pontos identificáveis tanto na carta como na imagem. Para melhor visualização e edição dos pontos de controle, o SPRING abre uma nova tela auxiliar para o registro (tela 5).

Nos dois casos foram utilizadas equações de 1ª ordem para o mapeamento dos pixels e o método do “vizinho mais próximo”, como processo de interpolação.

Técnicas para a caracterização da bacia hidrográfica

Topografia e divisor de águas superficiais

A partir da carta do IBGE já georreferenciada, foi possível vetorizar as curvas de nível. Para isso foi utilizada a técnica *hands-up*, que consiste na geração manual das curvas a partir da imagem *raster*, além da atribuição a cada curva de sua respectiva cota (Z). Como resultado dessa técnica, foi gerado um plano de informação vetorial, contendo as isolinhas editadas.

Através das curvas de nível na carta referida, foi possível delinear o divisor de águas da bacia do ribeirão da Onça, utilizando também a técnica *hands-up*. Como resultado foi obtido um plano de informação contendo o polígono limítrofe da bacia.

Área superficial e perímetro

Depois de elaborado o divisor de águas (polígono), a área e o perímetro podem ser calculados automaticamente por ferramenta específica do software. Com esses números, é possível calcular uma série de índices de caracterização de bacias.

Modelo Numérico de Terreno (MNT)

Um modelo numérico de terreno MNT (em inglês, DTM = “Digital Terrain Model”) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MNT pode-se citar:

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

No processo de modelagem numérica de terreno, podemos distinguir três fases: aquisição dos dados (através de importação ou edição de dados), geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas.

Nesse caso, foram utilizados como dados as isolinhas (curvas de nível) obtidas da carta do IBGE. Na seqüência, foi possível criar uma grade triangular (TIN) e posteriormente uma grade retangular.

As grades retangulares são geralmente utilizadas em aplicações qualitativas, ou seja, para visualização da superfície. Enquanto o modelo de grade irregular é utilizado quando se requer maior precisão na análise quantitativa dos dados. Os interpoladores de grade Retangular e Triangular, utilizados no SPRING para a geração de modelos numéricos de terreno, foram especificados de acordo com os tipos de dados de entrada, ou seja, amostras (pontos e isolinhas), grade retangular, ou triangular.

Na grade triangular, os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem considerando as arestas dos triângulos permite que as informações morfológicas importantes como as descontinuidades, representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórficas da superfície.

A grade retangular ou regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes tenham sido adquirido nas mesmas localizações (x,y) que definem a grade desejada.

Declividades da bacia

As declividades dos terrenos da bacia são calculadas pelo software a partir de derivadas parciais de primeira e segunda ordem obtidas de uma grade (retangular ou triangular) resultante dos valores de altitude da superfície.

Após gerar as grades, as mesmas devem ser “fatiadas” (operação descrita a seguir) para se obter um mapa temático da declividade.

O “fatiamento” consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular ou triangular. Os temas da imagem temática resultante correspondem a intervalos de valores de cotas, chamados no SPRING de fatias. Desta forma, um Plano de Informação da categoria numérica originará um Plano de Informação de categoria temática representando um aspecto particular do modelo numérico de terreno. Conseqüentemente, cada fatia deve ser associada a uma classe temática previamente definida.

A definição dos intervalos de cotas ou fatias dependerá da variação dos valores da grade que se deseja destacar. Uma imagem temática resultante do “fatiamento” da grade permite visualizar o modelo e ser utilizada em operações de análise como as “booleanas” do tipo cruzamento de dados temáticos.

Neste trabalho, foi gerado um mapa de declividades contendo os seguintes intervalos: 0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30% e superior a 30%.

Rede de drenagem

A rede de drenagem pode ser vetorizada diretamente da carta do IBGE pela técnica já descrita, *hands-up*. Assim, é possível trabalhar com esse vetor no SPRING obtido a partir de um levantamento prévio, registrado na carta. Outra possibilidade é a geração de um modelo de rede de drenagem a partir da "grade de fluxos acumulados", que será produzida através de uma grade de modelo numérico de terreno.

Na geração de grade de fluxos, um valor de limiar é fornecido e cada célula da grade é pesquisada. A célula fará parte da rede de drenagem se o valor da célula da grade de fluxos acumulados for maior ou igual ao valor de limiar fornecido. Neste caso, o valor dessa célula será inserido na mesma posição na grade de saída, que conterá a rede de drenagem. Assim, no final do processamento só valores maiores ou iguais ao valor de limiar estarão representados na grade de drenagem, e nas outras células um valor "default" será colocado.

Os dois modelos de rede de drenagem gerados (*hands-up* e por grade de fluxos) podem ser comparados, observando a aderência entre eles.

Perfil longitudinal do curso d' água

Tendo já disponível um modelo numérico de terreno, um perfil longitudinal pode ser extraído de uma trajetória qualquer, presente em um plano de informação vetorial ou editada em tela.

A partir de um modelo de rede de drenagem, gera-se o perfil longitudinal do curso d' água. Esse perfil associará cada ponto da trajetória à sua respectiva cota presente na grade considerada. O perfil é representado por um gráfico, explicitando a declividade do curso d' água em cada trecho (tangente da curva).

Classificação do uso e ocupação do solo

Com o objetivo de caracterizar a bacia quanto ao uso e ocupação do solo, foi realizada uma classificação automática supervisionada de uma imagem de satélite, a partir das diferentes respostas espectrais de cada tipologia de uso do solo.

Para isso, foram utilizadas imagens do satélite sino-brasileiro CBERS. Depois de a imagem ser georreferenciada, procede-se à classificação do uso e ocupação do solo da bacia.

Na classificação supervisionada, são definidos na imagem polígonos representativos das classes (amostras), que são utilizados na geração de assinaturas. Essas assinaturas dão embasamento estatístico para a classificação automática a ser realizada pelo software. Elas podem ser previamente analisadas a partir de parâmetros estatísticos, estabelecendo a validade da amostra.

Com as amostras definidas, é feita a classificação da imagem a partir da escolha de algum método de classificação, podendo ser máxima verossimilhança (MAXVER), distância mínima e método do paralelepípedo.

Além da classificação “pixel a pixel” pode ser utilizado o método de classificação por regiões e pós-classificação por re-amostragem. A partir da classificação procede-se o mapeamento para classes, permitindo a transformação da imagem classificada em um mapa temático.

Para embasar a escolha das amostras, é fundamental a realização de um reconhecimento no campo, para servir de “verdade de campo”.

No caso do estudo em pauta, o reconhecimento foi realizado no dia nove de março de 2007. O trajeto realizado possibilitou o acesso a áreas de especial interesse, ou seja, aquelas cujas informações obtidas na imagem do satélite CBERS eram inconclusivas.

Baseando-se nisso e no prévio estudo da imagem foi determinado um percurso que compreendeu pontos chave para o esclarecimento das dúvidas que surgiram durante a análise da mesma. Na imagem, foram observadas áreas de respostas espectrais homogêneas e áreas de formas geométricas bem definidas, correspondentes a diferentes classes (amostras).

Foi utilizada também no reconhecimento, a carta do IBGE, já citada neste artigo, para visualização da malha viária correspondente à bacia do ribeirão da Onça. A partir do cruzamento das informações da carta e da imagem, foi possível avaliar quais seriam os melhores pontos para coleta de informações, ou seja, amostras com determinadas atribuições.

Esses pontos foram escolhidos de modo a garantir a quantidade e qualidade de informações a serem coletadas. Geralmente, isso acontece nos locais onde são encontradas interfaces de diferentes padrões de ocupação do solo, de modo a facilitar a visualização e localização desses pontos na imagem, para posterior escolha dos polígonos representativos (amostras) de cada classe.

ESTUDO DE CASO – BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA

Localização

A bacia do ribeirão da Onça encontra-se na região de São Carlos, Brotas e Itirapina, centro norte do estado de São Paulo (22° 10' a 22° 15', latitude sul e 47° 55' a 48° 00', longitude oeste). O ribeirão da Onça é afluente do rio Jacaré-Guaçu que deságua no rio Tiête pela margem direita. A localização da bacia é mostrada na figura 1.

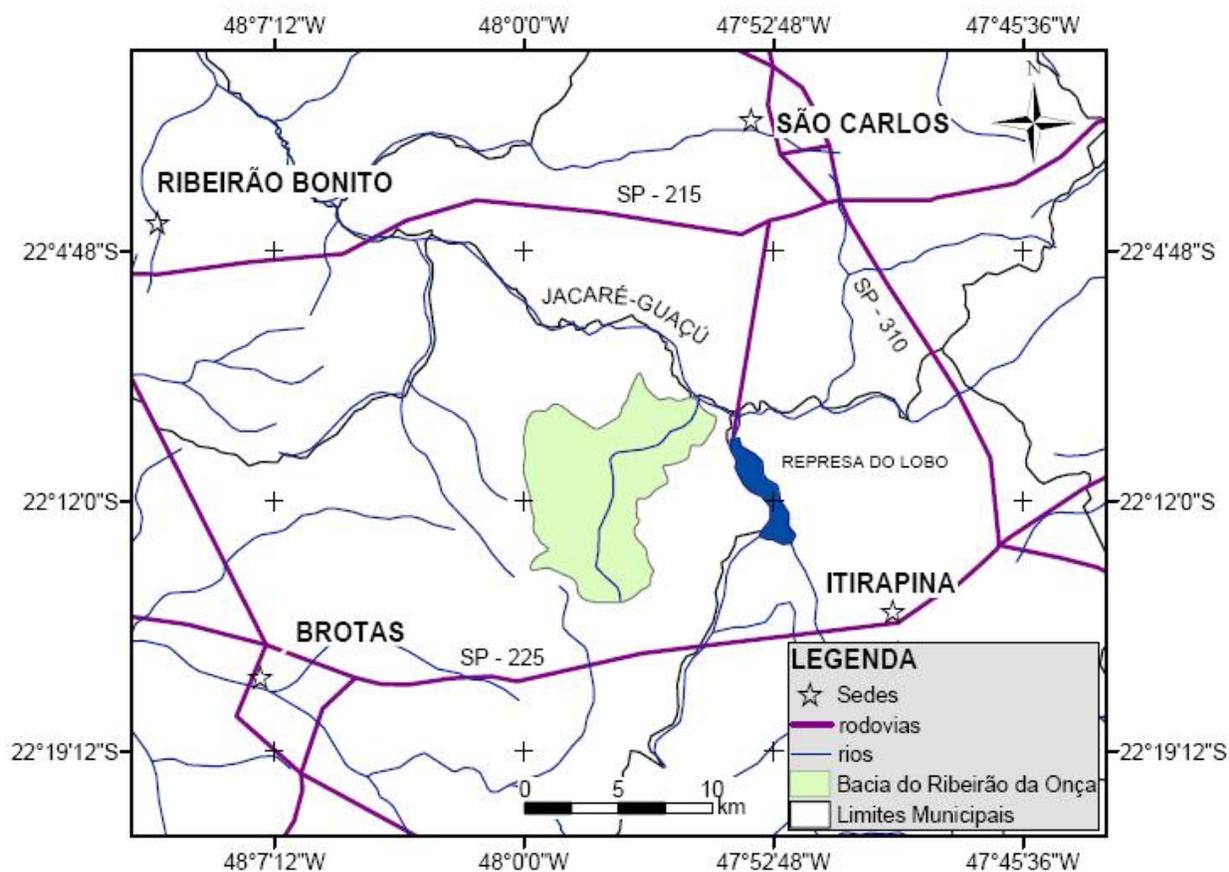


Figura 1 – Localização da bacia do ribeirão da Onça

Principais características

Os parâmetros fisiográficos dessa bacia, definidos com base nos estudos realizados, são os seguintes:

- Área de drenagem: 65,50 Km²;
- Perímetro: 42,09 Km;
- Comprimento axial: 11,50 Km;
- Extensão do curso d'água principal: 16,00 Km;
- Comprimento total dos cursos d'água: 55,66 Km;
- Altitude máxima: 840 m;
- Altitude mínima: 640 m;
- Declividade média: 7,6 m/Km;

A formação geológica predominante na bacia é o arenito Botucatu, que se desenvolve na maior parte do percurso do ribeirão da Onça, com presença do complexo Botucatu-diabásio próximo ao exutório da bacia. Na maior parte da bacia, a Formação Pirambóia encontra-se a dezenas de metros abaixo da superfície do solo.

Os solos da bacia são compostos basicamente por arenito desagregado com composição homogênea e quantidade representativa de argila, somente próximo ao exutório.

A bacia se encontra em área rural, com presença de grupos pequenos e isolados de povoamento. O uso da bacia é agrário e pecuário, não havendo vias pavimentadas expressivas e nenhuma área industrial. Quanto às culturas, prevalecem os eucaliptos, citros, cana-de-açúcar e pastagens.

A bacia possui clima subtropical úmido com chuvas de verão, apresentando variação para tropical úmido com inverno seco. A precipitação média anual é da ordem de 1300 a 1400 mm e a temperatura média anual de 20,5°C.

Além dos parâmetros já descritos, para o contexto da bacia hidrográfica, torna-se relevante analisar as características da rede de canais, bem como as características topográficas da bacia. Por essa razão, podem-se considerar os indicadores (CHRISTOFOLETTI, 1999) apresentados na tabela 1. Todos esses parâmetros foram extraídos a partir do SIG montado para a bacia em questão.

Tabela 1 - Índices calculados para a bacia do ribeirão da Onça

Índice de circularidade	Ic	0,58
Índice entre comprimento e área da bacia	Ico	1,61
Amplitude altimétrica da bacia	H	185 m
Comprimento da bacia	Lb	12,14 Km
Comprimento total dos canais da bacia	Lt	31,69 Km
Quantidade de rios da bacia	Fb	28 rios
Densidade de drenagem	Dd	0,53 Km/Km ²
Densidade de rios	Dr	0,47 rios/Km ²

Mapas gerados

Nas figuras 2 a 5 a seguir são mostrados os mapas obtidos a partir do SIG desenvolvido para a bacia do ribeirão da Onça.

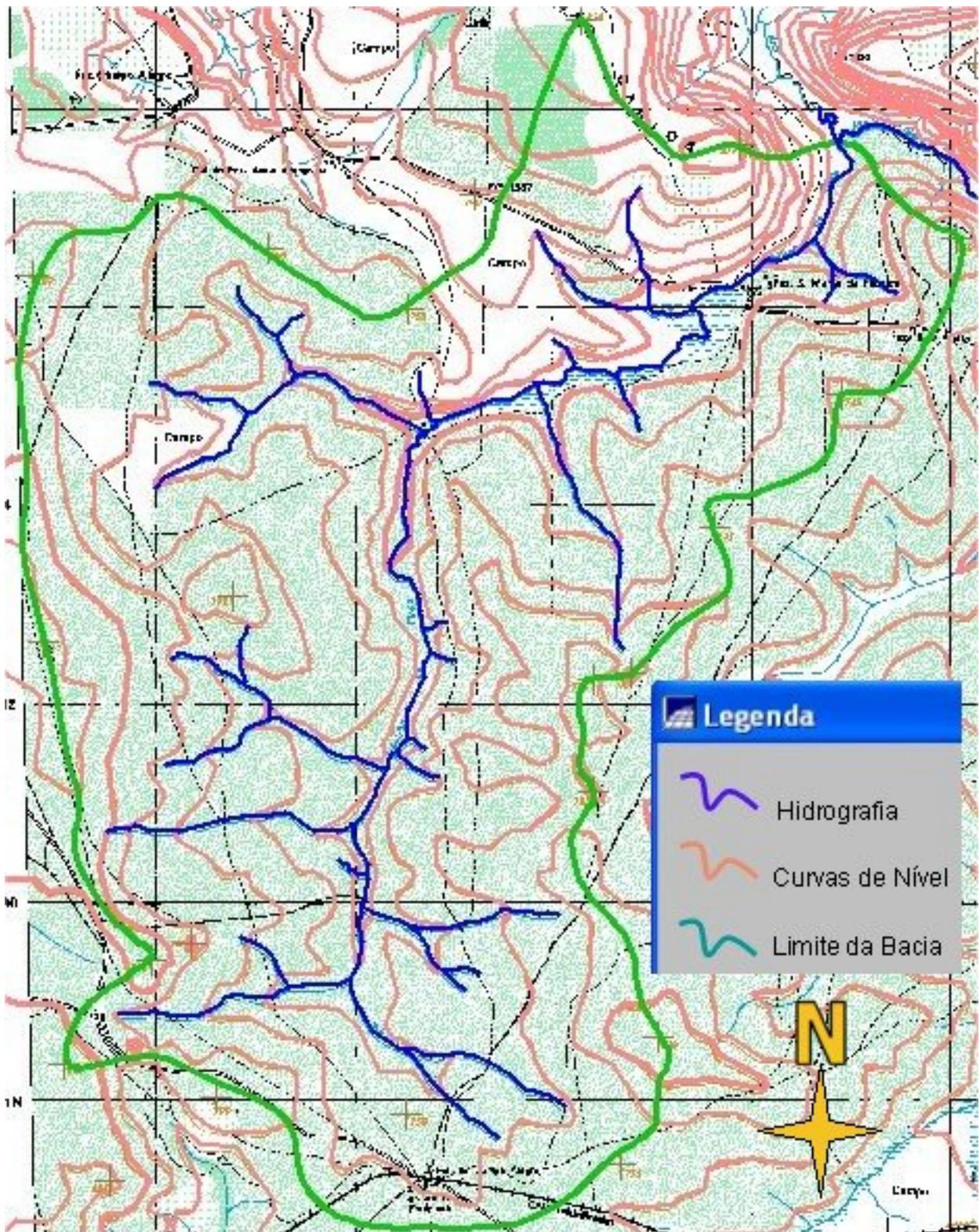


Figura 2 – Mapa com rede de drenagem, curvas de nível e divisor de águas.

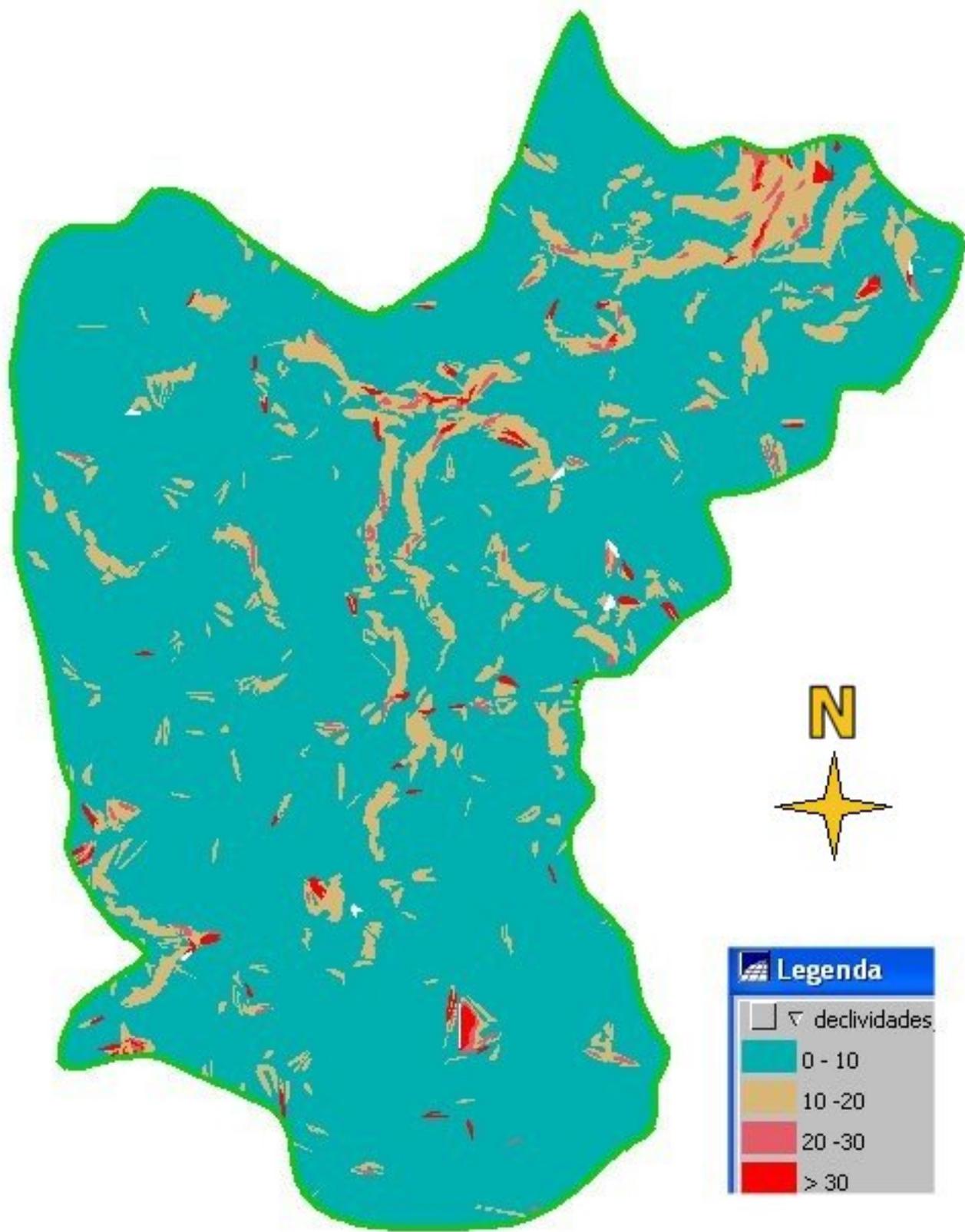


Figura 3 – Mapa de declividades.

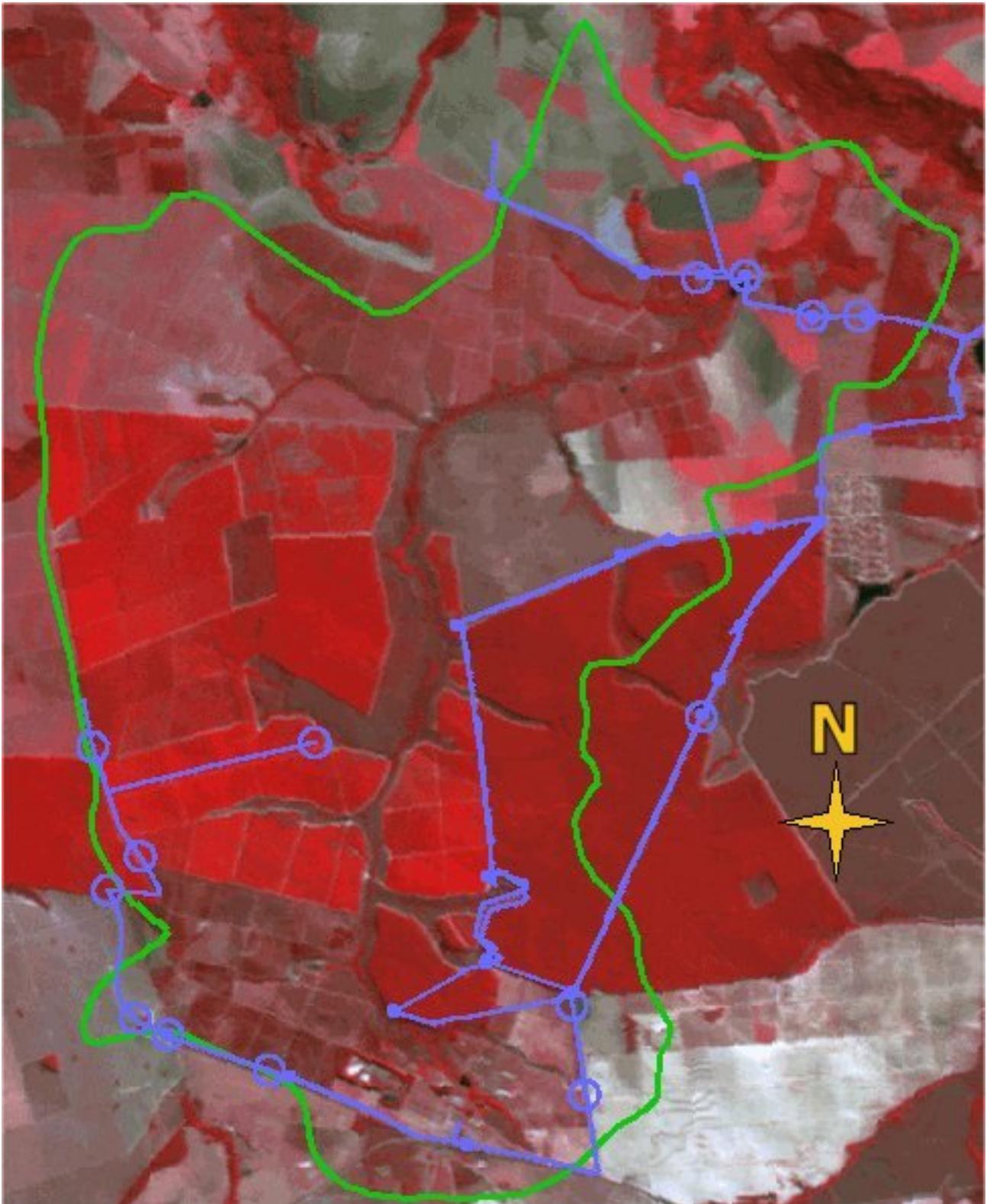


Figura 4 – Imagem CBERS sintética com percurso do reconhecimento realizado

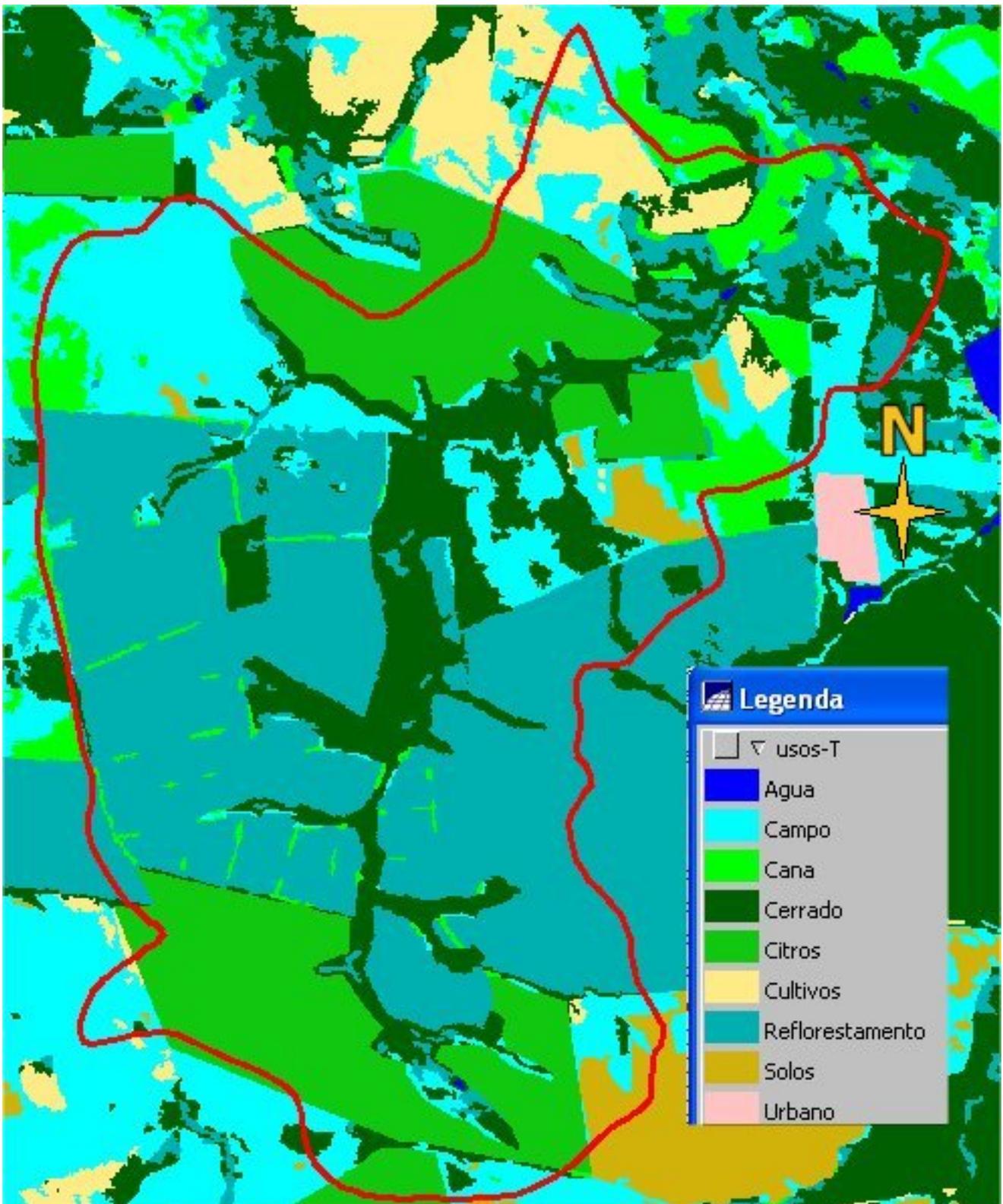


Figura 5 – Mapa de uso e ocupação do solo

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou apresentar de forma simples e objetiva quais os passos, as metodologias e alguns produtos possíveis de serem gerados no processo de caracterização de uma bacia hidrográfica a partir de técnicas de geoprocessamento. Espera-se com isso poder contribuir para a disseminação dessas técnicas tanto nos meios acadêmicos como profissionais de forma a se obter resultados cada vez mais rápidos e precisos com base na utilização dos softwares, cartas geográficas e imagens digitais do terreno. Atualmente, existe uma gama muito ampla desses produtos disponíveis no mercado, cada qual com suas particularidades, níveis de definição, atributos, preços de mercado, etc. Cabe aos técnicos responsáveis pelos estudos avaliar os produtos a serem adquiridos com base nas suas necessidades específicas. Contudo, esta pesquisa demonstrou que é possível desenvolver um SIG simplificado para uma bacia hidrográfica a partir de produtos disponíveis aos usuários sem qualquer tipo de custo, bastando acessar os sítios correspondentes na Web.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Pró-Reitoria de Graduação da USP pela concessão de bolsas de Iniciação Científica do Programa Ensinar com Pesquisa que vem subsidiando parte dos alunos envolvidos neste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

BARRETO, C. E. A. G. (2006). Balanço Hídrico em Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de Monitoramento Hidrogeológico em Bacia Representativa. Dissertação de Mestrado. SHS-EESC-USP. São Carlos.

CHRISTOFOLETTI, A. (1999). *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo – SP, 236 p.

POMPÊO, C. A. (1990). *Balanço Hídrico da Zona Não-Saturada do Solo na Bacia do Ribeirão do Onça (SP)*. Tese de Doutorado. São Carlos, SHS-EESP-USP.

QUEIROZ, O. M. (1991). *Propagação de Cheias: aplicação do modelo de onda cinemática ao Ribeirão do Onça – SP*. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SHS-EESC-USP.

INPE - *Tutorial do SPRING e Manual do Usuário*. Disponível na Internet: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html> Acessado em maio de 2007.