

# MICRO BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ-LONDRINA-PR: LEVANTAMENTO GEOMORFOLÓGICO E AMBIENTAL UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

Rafael Silva de Araujo<sup>1</sup>  
Eloiza Cristiane Torres<sup>2</sup>

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral realizar um levantamento ambiental da micro bacia do Ribeirão Cambé, localizada no município de Londrina-PR, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, demonstrando-as com intuito de atualizar dados e propor cartas-sínteses para um diagnóstico posterior mais acurado da área.

**Palavras-chaves:** Microbacia. Geomorfologia. Geoprocessamento.

## RESUMÉ

Ce travail a eu comme objectif général réaliser une enquête environnementale du micron bassin du Ruisseau Cambé localisé dans la ville de Londrina-PR en utilisant techniques de geoprocessamento et teledetection, les démontrant, avec intention de demoderniser des données et proposer des lettres synthèse pour un diagnostic postérieur plus juste du secteur.

**Mots clés:** Bassin versant. Geomorphologie. Teledetection.

1 Licenciado e Bacharel em Geografia pela UEL/PR. krel55@hotmail.com

2 Geógrafa e Proa. Adjunta do Depto de Geociências – UEL/PR elotorres@hotmail.com

## Introdução

A questão ambiental rediscute formas de apropriação dos recursos naturais, pois os processos que alteram o ambiente têm permanecido no âmbito da modernidade e produção de mercadoria, gerando alteração da qualidade desses recursos através da poluição ou esgotamento de suas potencialidades. A ausência de políticas adequadas, quanto ao planejamento dos recursos naturais, tem produzido erros (muitos irreversíveis), induzindo a degradação ambiental. Isso ocorre, na maioria das vezes, porque os governos cuidam dos fatores solo, água, fauna e flora separadamente. Essa ótica estreita torna-se problemática quando utilizada para tomarem-se decisões. Planejar para desenvolver é manejar o ambiente visando à melhoria da qualidade de vida do ser humano. Cada vez mais, sente-se necessidade de estudos e planejamentos do ambiente que sejam abrangentes e capazes de avaliar a degradação crescente dos recursos naturais renováveis no Brasil, de forma integrada.

O uso de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto vem otimizar estudos relacionados ao meio ambiente, ou seja, vem apurar a dinâmica na produção e precisão dos dados, enriquecendo o poder de observação e análise dos mesmos.

Vale lembrar que a Bacia Hidrográfica é reconhecida mundialmente como a melhor unidade para o manejo dos recursos naturais. Assim, a utilização de ferramentas que possam melhor diagnosticar a situação real dos recursos naturais numa bacia hidrográfica passa a ser um instrumento necessário para a preservação e gerenciamento dos mesmos, cabendo à Universidade, junto ao Poder Público e cidadãos, a sua realização, pois a realidade atual vem apresentando novos desafios econômicos, socioambientais e políticos que precisam ser, urgentemente, enfrentados pelas Universidades, Poder Público e pelos cidadãos. Nesse contexto, não basta à Universidade contentar-se com sua explícita função de educadora; não basta ser o ponto de encontro daqueles capazes de converter informações em conhecimento. Cabe à ela, que é mantida com recursos do povo, tanto a pública, como a particular, a responsabilidade de produzir um conhecimento interativo com os problemas humanos da atual realidade, bem como cuidar para que ele esteja voltado, efetivamente, para a melhoria do meio ambiente e da qualidade de vida. Este é o desafio da Universidade: oferecer aos seus integrantes, em especial aos formandos, o sentido humanístico do emprego e transmissão do conhecimento. A integração entre Poder Público, Universidades e Comunidade deve ser prioridade na resolução dos problemas ambientais na atualidade.

## 1 - Bacia hidrográfica como unidade para estudo do meio

Segundo Tundisi (1986, p. 213),

A bacia hidrográfica compreende a área geográfica que drena suas águas para determinado recurso hídrico, é entendida como uma área fisiográfica drenada por um curso de água ou sistema de cursos de água conectados e que convergem, direta ou indiretamente para um espelho d'água, constituindo uma unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no meio ambiente por ela definido.

A água constitui elemento essencial à vida vegetal e animal. O homem necessita de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender a suas necessidades, para proteção de sua saúde e para propiciar o desenvolvimento econômico.

A multiplicidade de usos da água, com interesses muitas vezes conflitantes, pode conduzir a problemas, tanto em termos de quantidade como de qualidade. Esses conflitos de uso acentuam-se, principalmente quando são intensificados os processos de industrialização, de urbanização e de agricultura intensiva (MOTA, S., 1995).

A qualidade e quantidade da água de um manancial dependem, portanto, dos usos e atividades desenvolvidos em toda bacia hidrográfica.

Assim, não se deve considerar o corpo de água isoladamente, mas como parte integrante de um ambiente completo, que forma a sua bacia hidrográfica. Nessa área há um inter-relacionamento entre os recursos hídricos entre si e com outros ambientes naturais, tais como o solo e a vegetação.

Entender Bacia Hidrográfica como unidade para estudo do meio significa integrar os segmentos da sociedade em termos de abastecimento, saneamento, habitação do meio ambiente e bem-estar da sociedade, pois esta contém o conceito de informações físicas, biológicas, socioeconômica e, inclusive, cultural das populações que ali se estabelecem. Na realidade, a solução de inúmeros problemas de pressão ambiental deve estar no cuidado, no entendimento e na manutenção desta unidade de estudo (POLETTE, 1997).

Considerar-se a bacia hidrográfica como unidade do estudo do meio se faz necessário, pois as atividades desenvolvidas nessa área geográfica podem refletir-se na quantidade e na qualidade dos recursos que a integram.

A bacia hidrográfica deve ser entendida como sendo a unidade ecossistêmica e morfológica que permite a análise e entendimento dos problemas ambientais. Ela também é perfeitamente adequada para um planejamento e manejo, bus-

cando otimizar a utilização dos recursos humano e natural, para estabelecer um ambiente sadio e um desenvolvimento sustentado (BAUER, 1988).

Estudos relacionados a bacias hidrográficas têm aumentado devido a sua importância. A crescente demanda pelo uso dos recursos hídricos foi acompanhada, nos últimos anos, pela preocupação com a quantidade e a qualidade desses recursos nos dias atuais e para as futuras gerações.

De acordo com Guerra (2004), bacia hidrográfica é entendida como célula básica de análise ambiental e, através dessa concepção, nos permite conhecer e avaliar seus diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem.

A conscientização cada vez maior por parte da sociedade, da importância da água, essencial à vida e às muitas das atividades humanas, impulsionou o desenvolvimento de estudos e a criação de leis, em âmbito federal, estadual e municipal, de regulamentação do uso dos recursos hídricos. Além disso, maior atenção tem sido dispensada a questões de saneamento básico, intimamente ligado à qualidade da água e da vida da população.

Segundo Guerra (2004), cresceu enormemente o valor da bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento ambientais. Nela, é possível avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico.

Para que um sistema possa manter-se em equilíbrio ou, ainda, que mantenha uma qualidade ambiental favorável para seu desenvolvimento é necessário que se tenha uma visão sistêmica e integrada do ambiente, de forma a não agredi-lo.

Horberry (1984, apud Guerra, 2004, p. 21) afirma que “A qualidade ambiental é o estado do ar, da água, do solo e dos ecossistemas, em relação aos efeitos da ação humana.”

De acordo com Pires e Santos (1995), qualidade ambiental pode ser definida como a soma dos padrões encontrados nos diversos componentes que nos cercam e influenciam diretamente nossa vida: qualidade da água, do ar, estética etc.

É preciso entender qualidade ambiental como reflexo da ação do homem sobre o espaço e seus componentes em um dado momento (GUERRA, 2004).

## 1.2 - Gestão de recursos hídricos

A necessidade, cada vez maior de se obter a água na quantidade e qualidade desejadas para os seus diversos usos, induz a necessidade de planejar e coordenar sua utilização. Surge, assim, a gestão dos recursos hídricos, como meio de assegurar a utilização múltipla e integrada da água.

Segundo Mota (1995), “O gerenciamento de recursos hídricos deve ser conduzido segundo uma perspectiva global, considerando a bacia-hidrográfica como unidade básica de gestão. Assim, a unidade geográfica para o planejamento, avaliação e controle dos recursos hídricos deve ser a bacia hidrográfica.”

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos teve sua implantação ordenada pela Constituição de 1988. Em atendimento a esse princípio constitucional foi promulgada a lei n. 9.433, em 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos: Assegurar a necessária disponibilidade de água, a utilização racional e integrada dos recursos e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos, baseando-se nos seguintes princípios:

A água é um bem de domínio público; a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário de água é o consumo humano e dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve promover o uso múltiplo das águas; a bacia-hidrográfica é a unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos; a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

Cada bacia hidrográfica deve ter um plano de utilização integrado de recursos hídricos, o qual deve constituir o referencial de todas as decisões e intervenções setoriais nos recursos hídricos dessa bacia.

As ações de gerenciamento de recursos hídricos devem envolver organismos de atuação na área federal, regional, estadual e municipal. No âmbito federal, devem ser estabelecidas às diretrizes gerais e a legislação básica, regulamentando os procedimentos a serem adotados. As ações de gestão devem desenvolver-se na esfera de bacia-hidrográfica, através de um plano de utilização integrado dos recursos hídricos, de cuja execução devem participar organismos de atuação nos diversos níveis de governo, coordenados por um comitê central de bacia.

Assim como os municípios, os diversos órgãos, cujas atividades se relacionem com os recursos hídricos, devem ter suas ações pautadas pelas diretrizes fixadas pelo governo federal e pela comissão de gestão da bacia-hidrográfica. A implementação de uma política de recursos hídricos deve ter como princípio a efetiva participação dos diversos usuários de água, proporcionando a descentralização das decisões e das definições de prioridades de ações nas bacias, bem como possibilitar uma maior integração entre os vários setores

de usuários de água e das instituições públicas com intervenção na Bacia Hidrográfica. Os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH's) constituem um marco de suma importância para a consolidação de um novo paradigma de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, tendo no seu cerne os princípios de integração, participação e descentralização.

### 1.3 - Componentes paisagísticos e sua interdependência em bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é parte integrante da paisagem e, dentro dessa perspectiva, fica evidente a importância do entendimento de sua dinâmica como elemento essencial para concepção da paisagem.

A idéia de bacia hidrográfica está associada, necessariamente, à noção da existência de nascentes dos rios, divisores de águas e características dos cursos de água, principais e secundários, denominados afluentes e subafluentes. Uma bacia hidrográfica evidencia a hierarquização dos rios (de menos volumosos para mais caudalosos), que vai das partes mais altas para as mais baixas.

É importante mencionar a noção do dinamismo da paisagem, decorrente das modificações que ocorrem nas áreas divisoras de água (limites das bacias), sob efeito dos processos de erosão, que podem aumentar ou diminuir a superfície das bacias.

Segundo Ross (1990), Não se pode entender a gênese e a dinâmica das formas do relevo sem que se entendam os mecanismos motores de sua geração, sem que se percebam as diferentes interferências dos demais componentes em uma determinada unidade de paisagem.

A bacia de drenagem tem papel fundamental na evolução do relevo, uma vez que os cursos de água constituem importantes modeladores da paisagem (GUERRA, 1996).

Mudanças ocorridas no interior das bacias hidrográficas podem ter causas naturais, entretanto, nos últimos anos o homem tem participado como um agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrio da paisagem.

Os componentes naturais que estruturam a unidade da paisagem, tais como, cobertura vegetal, solos e sua litologia, ou até pelo seu arranjo estrutural são interdependentes. Quando há variações em algum desses componentes, certamente podem se observar diferenças na forma do relevo, na tipologia dos solos e na composição da cobertura vegetal. Esta última interfere no clima ou pelo menos no microclima, na diferenciação e distribuição da fauna e microorganismos responsáveis pelo equilíbrio do sistema (ROSS, 1990).

Tais componentes são melhor analisados e observados com o auxílio das atuais técnicas de geoprocessamento, por exemplo os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's).

## 2 - Uso de geotecnologia em estudos ambientais

O crescente avanço tecnológico da informática e a necessidade de armazenar e manipular informações e fenômenos do mundo real (análise dos recursos naturais, planejamento regional e urbano etc.) tornou possível o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de permitir a realização de análises complexas de dados geográficos. Deste modo surgiram as ferramentas computacionais para o Geoprocessamento, chamadas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permitem a integração análise de dados de diversas fontes, bem como automatizar a produção de documentos cartográficos, através da criação de um banco de dados georreferenciado (INPE, 2000). Um Sistema de Informação Geográfica pode ser definido como um conjunto de ferramentas para manipular dados georreferenciados capazes de armazenar, recuperar, transformar, analisar e manipular os dados coletados do mundo real (BURROUGH, 1987; ARONOFF, 1989; CÂMARA et al., 1996).

### 2.1 - Sistema de Informação Geográfica (SIG)

De acordo com Câmara (1995), a arquitetura de um SIG está dividida em componentes que se relacionam de forma hierárquica, tais como: interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados.

A interação usuário/SIG se dá através de uma interface gráfica, na qual ele determina as operações a serem executadas pelo sistema. A fase de entrada e integração dos dados é feita através da conversão de dados externos para o formato em que o sistema opera. Estes dados são encontrados nas formas de imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas no formato digital ou em papel, tabelas de atributos e de dados provenientes do levantamento de campo.

Aronoff (1989) relata que existem dois tipos de representação digital na qual os dados externos são convertidos para que o sistema possa trabalhar com os dados de entrada: formato vetorial e formato raster (imagem). O formato vetorial, geralmente, é o resultado da digitalização de objetos ou feições, de modo que o elemento possa ser a representação mais fiel do mundo real. Estes elementos são representados no sistema sob a forma de

linhas, pontos e polígonos. A posição espacial de cada elemento representado é organizada na forma de um sistema de coordenadas de referência. O formato raster é representado por uma malha quadriculada ou uma matriz regular composta de “n” linhas e “n” colunas, construindo, célula a célula, o elemento a ser representado. O valor atribuído a cada célula denota o tipo de elemento ou a condição que está sendo representado no local. As imagens digitais são adquiridas neste formato, entretanto, é possível representar dados cartográficos desta maneira, por exemplo: uma estrada, representada no formato vetorial por uma linha, no formato raster será representada por um conjunto de células. Para que as operações de consulta e análise espacial sejam realizadas é necessário que haja organização e gerenciamento das informações geográficas dentro do sistema. Desta forma, o sistema necessita de um componente denominado de Sistema de Gerência de Banco de Dados (SGBD). Ele é o responsável pelo armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos. O módulo de saída de um SIG é concebido para que o usuário possa visualizar e listar as informações armazenadas na base de dados. Esse processo é feito normalmente através de mapas, gráficos, tabelas, histogramas ou pela unidade de visualização do computador (monitor) (BURROUGH, 1987; ARONOFF, 1989).

Para que as informações do mundo real possam ser representadas em um Sistema de Informação Geográfica, o espaço geográfico é modelado segundo duas visões complementares: o modelo de campo ou Geo-campo<sup>1</sup> e o modelo de objetos ou Geo-objeto<sup>1</sup>. O Geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica (p. ex. modelos temáticos, numéricos e imagens). O Geo-objeto é um elemento único que possui atributos não espaciais e está associado às múltiplas localizações geográficas, sua localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno (p. ex. os mapas de cadastro rural). Segundo o INPE (2000), estes dois modelos se dividem de acordo com suas representações, topologia e formato dos dados, dentre os quais são citados:

- Mapas temáticos: são dados que descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, como por exemplo, os mapas de pedologia, e aptidão agrícola de uma região. Mapas temáticos medem, no espaço de atributos, valores nominais que representam as classes de um mapa temático e valores ordinais, quando as classes representam intervalos (escala) de valores. Estes dados são do tipo geo-campo e admitem tanto a representação matricial quanto a vetorial.

- Mapas Cadastrais: são dados que permitem a representação de elementos gráficos (geo-objeto) por pontos, linhas ou polígonos, sendo que cada um dos seus elementos possui um atributo descritivo e pode estar associados a várias representações gráficas.
- Redes: são dados em que cada objeto geográfico possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritos e presentes no banco de dados. Como exemplos, temos cabos telefônicos, canos de água etc. Computacionalmente, as redes são consideradas atributos armazenados no banco de dados.
- Modelo numérico de terreno (MNT) ou Modelo Digital do Terreno (MDT): é definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos ( $x$ ,  $y$ ) em um referencial qualquer, com atributos denotados de  $z$ , que descrevem a variação contínua da superfície. É utilizado para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Esse modelo é associado à altimetria, podendo ser utilizado para modelar características geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo.
- Imagem: representam formas de captura indireta de informação espacial. Consideradas geo-campo, são armazenadas como matriz e cada elemento de imagem (pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

## 2.2 - Técnicas de Geoprocessamento utilizadas em Bacias Hidrográficas

Cívco et al. (1995) destacam que, embora a caracterização de bacias hidrográficas não seja uma novidade para cientistas e planejadores, suas possibilidades e aplicações tornaram-se exponencialmente maiores com a evolução dos sistemas de geoprocessamento.

A geração, digitalização e manipulação de dados georreferenciados em sistemas informatizados vêm sendo utilizadas desde a década de 70, com desenvolvimento dos sistemas de informação geográfica (ARONOFF, 1989).

Na década de 80, Burrough (1986) estimou que, só nos Estados Unidos, havia aproximadamente mil diferentes sistemas de informações geográficas com funções específicas e destinadas às mais diversas aplicações cartográficas.

Na década de 90, alguns sistemas se despontaram dos demais por atenderem aplicações mais generalizadas. Câmara (1994) comparou a funcionalidade de alguns dos sistemas mais utilizados no mercado brasileiro e mundial, com base nos seguintes instrumentos de geoprocessamento: análise geográfica, processamento digital de imagens, modelagem digital do terreno, modelagem de redes e produção cartográfica. O autor constatou que a grande maioria apresentava deficiência em pelo menos um dos instrumentos.

Sheng et al. (1997) propõem o uso de sistemas de informação Geográfica (SIGs) na classificação e avaliação de bacias hidrográficas em países em desenvolvimento e destaca a importância de ferramentas como o Modelo Digital do Terreno (MDT) na obtenção de parâmetros, como borda da bacia, elevação e características das encostas e em combinação com outros fatores, como mapa geológico e de solos, para derivar cartas interpretativas. Civco et al. (1995) também consideram o MDT importante para a caracterização de bacias e complementam que a sua combinação com outros dados fornece grandes oportunidades para identificar novos parâmetros descritivos.

O termo Modelo Digital do Terreno ou (MDT) é utilizado para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Usualmente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais ou propriedades do solo ou subsolo (como aeromagnetismo).

Entre as aplicações de modelos digitais de terreno, pode-se citar Burroughs (1986), quanto ao armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos, análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens, mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade, análise de variáveis geofísicas e geoquímicas, e apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

O processo de aquisição de uma grandeza com variação espacial produz usualmente um conjunto de amostras pontuais. A partir dessas amostras, podem-se construir dois tipos de representação:

- grades regulares: matriz de elementos com espaçamento fixo, onde é associado o valor estimado da grandeza na posição geográfica de cada ponto da grade. As grades regulares são obtidas por interpolação das amostras ou, alternativamente, geradas por restituidores com saída digital.
- grades triangulares: a grade é formada por conexão entre amostras, utilizando a triangulação de Delaunay (sujeita à restrições). A grade triangular é uma estrutura topológica vetorial do tipo arco-nó, que forma um conjunto de recortes irregulares no espaço.

Os procedimentos de interpolação para geração dessas grades, são diversos. A partir delas são gerados os diversos produtos, por exemplo, Modelos Digitais de Terreno são convertidos para mapas temáticos e para imagens. Em ambos os casos, a grandeza numérica é quantizada, seja para um número pequeno de valores (caso de mapas temáticos), seja para a variação associada à imagens (valores discretos).

Muitos autores desenvolveram algoritmos com base em MDT para a extração de redes de drenagem de bacias hidrográficas. Meisels et al. (1995) agrupam os procedimentos até então desenvolvidos em três grupos: algoritmos de passo simples; algoritmos de passo duplo e cálculos automáticos da rede de drenagem. Destes, os primeiros a serem desenvolvidos e também os mais deficientes foram os de passo simples, porque, além de produzirem canais descontínuos, não são capazes de local canais onde as concavidades do relevo não estão bem definidas.

Band (1986) desenvolve um algoritmo de passo duplo, adicionando operadores para conectar fragmentos de canais separados que permitem a extração das redes em sub-bacias em bacias hidrográficas. Band (1989) aprimora essa técnica com o objetivo de produzir mais detalhes e a associa a um SIG, melhorando as funções de armazenamento, manejo e recuperação de atributos da área de drenagem.

Meisels et al. (1995) discutem sobre os vários procedimentos utilizados para a extração de redes de drenagem com o uso de MDT e destacam a ocorrência de deficiências técnicas nos mais simplificados e deficiências operacionais nos mais complexos. Os autores propõem um método composto por um algoritmo principal, completado por procedimentos de pré e pós-processamento.

Ferreira (1997) utiliza MDT em escala regional, para a estimativa de enchentes em bacias hidrográficas onde há escassez de dados hidrológicos. No método apresentado, alguns parâmetros morfométricos são extraídos do MDT e correlacionados com dados fluviométricos. Dentre os parâmetros analisados, a amplitude altimétrica e o desvio padrão das altitudes mostraram-se mais adequados para o estudo das cheias.

Ferreira (1999) utiliza de uma técnica de geoprocessamento denominada Modelo Digital das Distâncias Mínimas (MDI), por meio da função de vizinhança extensiva, presente em SIGs, para interpretar a variabilidade espacial de parâmetros morfométricos dentro de uma bacia hidrográfica.

Souza (2000) utiliza técnicas de realce em fotografias aéreas digitalizadas para testar a viabilidade de se traçar rede de drenagem de bacias hidrográfi-

cas a partir da tela do computador, em detrimento ao processo manual com uso de estereoscópico. Os resultados não produziram o efeito desejado. O autor só recomenda a técnica para bacias com rede de drenagem muito bem definida, preferencialmente com ocorrência sistemática de matas ciliares.

A análise de terreno, com auxílio de sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas, vem se tornando cada dia mais usual, tanto nos órgãos administrativos quanto em empresas privadas e de pesquisa. Saito et al. (1994) fizeram um levantamento em 200 agências americanas envolvidas com a qualidade das águas e constataram que mais de um terço delas utilizam algum tipo de SIG.

Ferreira (1996) apresenta aspectos conceituais relacionados à modelagem cartográfica em SIG e suas aplicações para geração de mapas de susceptibilidade. O autor destaca a necessidade de uma discussão multi e interdisciplinar no que se refere aos escores atribuídos a fatores e restrições espaciais. Essa atitude seria fundamental para a confiabilidade dos documentos gerados.

Jakubauskas et al. (1992), pesquisando áreas agrícolas, utilizaram imagens de satélite (Landsat-TM, SPOT multiespectral e SPOT pancromática) e um SIG para auxiliar na avaliação de regiões com problemas potenciais de poluição não pontual.

O objetivo foi extrair classes de cobertura do terreno que, posteriormente processadas, seriam utilizadas como parâmetro de entrada em um modelo que prevê a magnitude de fontes de poluição agrícola não pontual.

### 2.3 - Processamento Digital de Imagens Orbitais

Processamento Digital de Imagens Orbitais pode ser definido como um conjunto de técnicas computacionais que possibilita extrair informações de imagens de satélites geradas a partir de sensoriamento remoto, a fim de gerar aplicações ambientais e de planejamento territorial.

O termo sensoriamento remoto tem sofrido modificações ao passar dos anos, à medida que novas tecnologias vêm surgindo. Novo (1989) procura retratar este processo e o define como sendo o resultado da

[...] utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves ou espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra e, suas mais diversas manifestações. (p. 23).

Schowengerdt (1983), ao estudar a evolução do sensoriamento remoto, comenta que até o final da década de 60 imperou o uso de fotografias aéreas

nos estudos relacionados à superfície terrestre e destaca como grande marco no seu desenvolvimento da série de satélites Landsat, em 1972. Foi nessa época que surgiram as primeiras técnicas para o processamento digital de imagens. Por processamento digital de imagens entende-se a manipulação numérica de imagens, que incluem pré-processamento, realce e extração de informações temáticas, também denominada classificação (JENSEN, 1986).

Deve ser realizado um pré-processamento que consiste em minimizar algumas características das imagens digitais que não pertencem à cena imageada, como as produzidas pela natureza do sensor, atmosfera, nuvens etc. Em primeiro lugar, o sensor obtém a cena com a sua particular geometria de imageamento, o que em geral não é adequado para os usuários das imagens, a transformação de dados digitais brutos em imagens corrigidas se faz necessário para extração de informações mais precisas por ela oferecida.

Assim, é necessário desenvolver algumas atividades específicas para obter melhor exploração da imagem: Correção Geométrica; Correção Radiométrica; Conversão de Número Digital para Valores de Radiância e Reflectância Aparente; Correção Atmosférica; O Processo de Espalhamento Atmosférico; Realce de Imagens; Classificação de Imagens; Classificação não Supervisionada; Classificação Supervisionada; Classificação por Regiões; Técnicas de Sensoriamento Remoto em Estudos da Cobertura Vegetal; Índice de Vegetação; Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Cartografia Digital nos Estudos de Bacias Hidrográficas.

Assim, nota-se que a Cartografia Digital nos estudos de bacias hidrográficas é extremamente importante e ressalta a eficiência e o dinamismo na elaboração de mapas, quando processados nesse ambiente.

Com a introdução dos métodos quantitativos e com o desenvolvimento tecnológico, a partir da década de 70 a representação cartográfica e a análise geográfica ganharam em rapidez, precisão e eficiência, a partir da introdução de métodos e técnicas desenvolvidos na Cartografia Digital, com o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A informação analógica passou, então, a ser concebida como informação digital, georreferenciada e armazenada na forma de planos de informação (layers), com estruturas vetoriais e raster. A esse conjunto de tecnologias para análise da informação espacial, tem sido atribuído o termo Geoprocessamento (CÂMARA, et al., 1996).

Essa ferramenta usa como documento base para obtenção de dados a carta topográfica ou imagem de satélite. A partir dos mesmos obtém-se informações essenciais para análise de bacias hidrográficas, tais como: declividade, hipsometria, perfis de terreno, cálculo de áreas, densidade de drenagem e

no que diz respeito à morfometria do relevo. Os elementos altimétricos da carta topográfica e imagens de satélite, as quais contêm os elementos matemáticos indispensáveis de proporção, sistematização e referência, além dos elementos planimétricos de caracterização do uso do solo, são manipulados em Modelos Digitais de Terreno (MDT) e algoritmos de interpolação que permitem a obtenção de informações relativas à declividade, orientação e declividade de vertentes, hipsometria, ao perfil topográfico, aos modelos tridimensionais, entre outras informações morfométricas. Essas informações são obtidas com rapidez e precisão, tornando o processo de elaboração de mapas significativamente mais dinâmico.

A análise das dificuldades mais relevantes detectadas na elaboração e na implementação do planejamento de bacias hidrográficas indica que, para ter maiores chances de sucesso, deve-se partir de alguns pontos-chave como: a definição do problema; capacidade de lidar com a complexidade da bacia; identificação do conjunto de interesses que contribuem para o estado atual da bacia e encontrar maneiras de lidar com uma bacia hidrográfica, para que se possa obter o maior aproveitamento possível. Desse modo, a cartografia digital representa uma ferramenta fundamental no apoio à identificação de variáveis. A cartografia computadorizada é uma forma de representação gráfica que consiste basicamente na dinamização técnica da cartografia tradicional, através de procedimentos digitais assistidos por computador, tornando suas aplicações mais versáteis (CASTRO, 1993).

### 3 - O ribeirão Cambé-Londrina-PR: caracterização e peculiaridades

O Ribeirão Cambé, Londrina-PR, vem sofrendo, no decorrer da sua história, alterações decorrentes da ação antrópica, causadora de desequilíbrio. O estudo nesta microbacia hidrográfica torna-se importante devido suas características, como interface dos sistemas urbano e rural.

A microbacia em estudo nasce a oeste do município de Londrina-PR, possui uma área de 77,20 km<sup>2</sup> e sua delimitação é de 48 km, sendo o comprimento do principal curso d'água é de 25 km e seus limites geográficos aproximados são: Latitudes 23° 22' 52", 23° 16' 27.82" sul e Longitudes de 51° 14' 56.73", 51° 3' 3.90" oeste, delimitada por espigões de forma alongada onde passam as rodovias "BR-369" e "PR-455", que se unem no trevo próximo a nascente.

Os municípios de Londrina e Cambé localizam-se no norte do estado do Paraná, segundo a divisão proposta por Maack (1968), inserida no terceiro planalto. A seguir, o mapa de localização da micro bacia (fig. 1):



Figura 5.8 - Mapa de distância de *buffer*  
Elaboração: Rafael Silva de Araújo, 2004.

Fig.1. Localização da área de estudo

Elaboração: Rafael Silva de Araújo, 2004

Os estudos relacionados à microbacia hidrográfica referida são de suma importância para a compreensão dos processos da natureza ocorridas em suas delimitações, como a cobertura vegetal, a vida faunística, o grau de desenvolvimento dos solos. A este também estão relacionados os processos ligados à agricultura, a atividades industriais, ao lazer e muitos outros produtos ou não da ação do homem.

Por ser um elemento integrador entre natureza e sociedade, essa unidade de estudo vem sendo cada vez mais utilizada como referência para planejamentos. Assim, torna-se necessário entender sua dinâmica para compreender melhor o Ribeirão Cambé.

Os trabalhos em bacias hidrográficas pretendem integrar os segmentos da sociedade e termos de abastecimento, saneamento, habitação do meio ambiente e bem-estar da sociedade (BERTONI, J; LOMBARDI, N, E, 1990).

Para o trabalho, optou-se por confeccionar e atualizar os dados referentes à microbacia em um ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica).

A dificuldade no tratamento de um grande volume de dados pode ser auxiliada por meio de ferramentas computacionais capazes de integrar e realizar análises conjuntas das informações referentes a este objeto de estudo e sua espacialização, podendo otimizar a produção de informações com grande precisão, visto a complexidade de seus componentes paisagísticos (geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal, rede hidrográfica, ocupação urbana etc.), numa ótica de interdependência dos mesmos.

Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto em ambiente (SIG), Sistema de Informação Geográfica podem ser usadas para capturar, armazenar, editar, analisar, visualizar e plotar dados referenciados geograficamente (KORTE, 1997).

Um SIG permite ordenar e acessar grande quantidade de informação para manejo de dados que estão especificamente relacionados aos componentes de dados espaciais, sendo capaz de fornecer uma sólida apresentação cartográfica (JUPPENLATZ; TIAN, 1996).

A utilização integrada de técnicas de Geoprocessamento e de sensoriamento remoto está sendo amplamente aplicada. A similaridade destas reside no fato de ambas tratarem de dados espaciais e serem mapeadas digitalmente (JUPPENLATZ; TIAN, 1996).

### 3.1 - Os instrumentos empregados para a caracterização e elaboração de cartas da microbacia

Para elaboração das cartas síntese da referida microbacia hidrográfica, foram utilizados: O SPRING 4.1; O programa ENVI 4.1®; ArcGIS 9; ArcInfo e o ArcView.

Além dos programas computacionais, várias cartas topográficas foram utilizadas:

- Carta de solos do estado do Paraná – Londrina; fonte: Embrapa, 1981. Escala: 1:500000
- Folha Topográfica: Londrina. SF-22-U-II-4. Rio de Janeiro; fonte: IBGE, 1972. Escala: 1:50.000.
- Base Cartográfica da cidade de Londrina divisão de lotes e glebas perímetro de expansão urbana. Londrina; fonte: Prefeitura Municipal de Londrina -PR, 1994. Escala 1:20.000.

E as imagens orbitais empregadas foram:

- Imagem de satélite SPOT 5 de 18-01-2004, banda Pancromática resolução 2,5 m. coordenadas 707/396.
- Imagem de Satélite SPOT 5 de 18-01-2004, bandas Multiespectrais resolução 10 m, Escala 1:25000, Coordenadas 707/396. canais 1,2,3 composição colorida R.G.B.

Inicialmente, as imagens foram pré-processadas, depois passou pela correção geométrica e pela conversão dos números digitais em valores de radiância e reflectância aparente. Vencida esta etapa, passou-se para a Correção Atmosférica e, depois, o realce

Após esta etapa de trabalhos foi realizada a modelagem do banco de dados georreferenciados com os dados pré-existent. Foi, então, criado um projeto com as seguintes características:

- Projeção: UTM/SAD69
- Escala:1:25.000
- Retângulo envolvente em coordenadas geográficas: Longitudes de:  
Longitude 1 = oeste 51° 14' 56.73"  
Longitude 2 = oeste 51° 3' 3.90"
- Latitude 1 = sul 23° 22' 52"
- Latitude 2 = sul 23° 16' 27.82"

Os dados foram convertidos para o formato SPRING, gerando os Planos de Informação pertencentes às diversas. Dados, como as imagens SPOT-5, antes de serem inseridos no banco de dados do SPRING, foram convertidos do módulo Impima, para o formato GRIB e posteriormente registradas e importadas para o banco de dados.

Assim, de posse deste e de todo o trabalho computacional registrado, foi possível elaborar uma síntese das características ambientais da microbacia do ribeirão Cambe.

### 3.2 - A Geologia do local

De acordo com Maack (1981), a área situa-se no terceiro Planalto ou Planalto de *trapp* do Paraná ou de Guarapuava.

As rochas que ocorreram na área de estudo pertencem à formação Serra Geral, pertencentes à Era Mesozóica e ao Grupo São Bento, foram formadas durante Triássico/Cretáceo, há 120 milhões de anos atrás (PETRI e FÚLFARO, 1983; POPP, 1981); são rochas ígneas básicas que ocorreram na forma de derrames ou corpos intrusivos associados; as rochas da área são, em sua maioria, diabásios, meláfros, vitrófros etc., com arenitos eólicos intertrapp.

A formação Serra Geral é composta por basaltos pretos a cinza escuros, de estrutura maciça ou vesicular, fraturados e com o manto de intemperismo muito pouco presente em algumas localidades, até cerca de 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente (REBOUÇAS, 1978).

Essa formação ocorre em toda a área estudada, exceto no fundo dos grandes vales, aonde se encontram sedimentos aluvionares muito restritos assentados sobre a mesma, oriundos das deposições recente trazidas pelos rios da região.

O vulcanismo ocorrente na área não se deu na forma clássica de cones vulcânicos, mas através de fissuras ou fraturas das rochas existentes, por onde o magma básico extravasou a superfície.

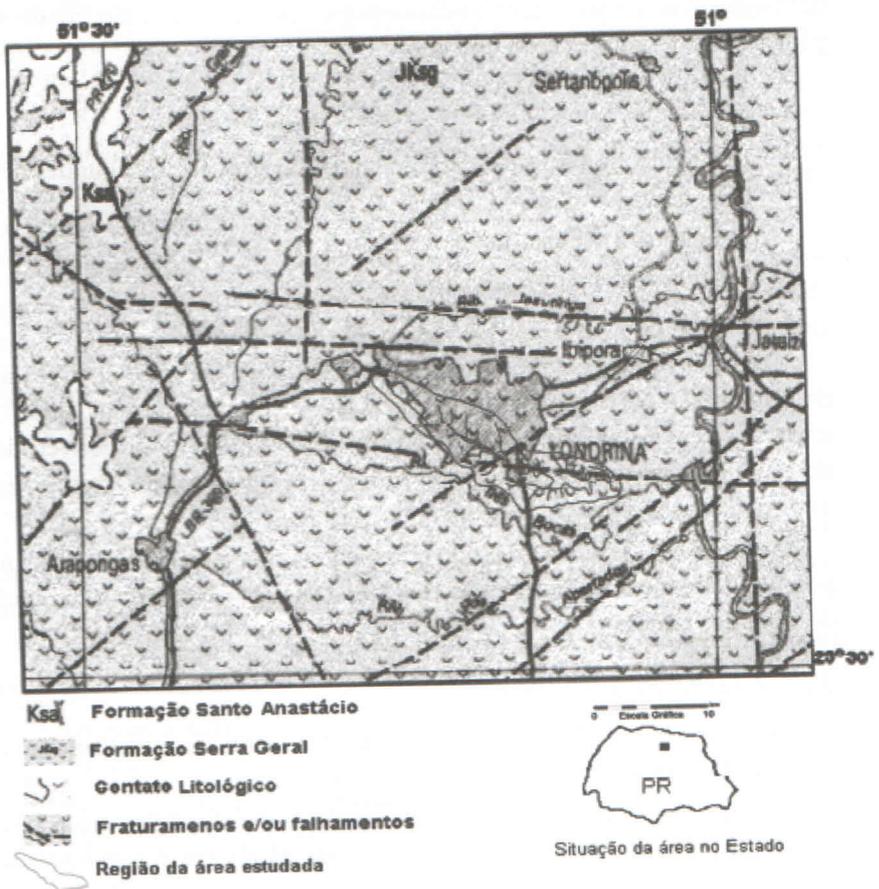


Figura 2 - Geologia da área

Org. Rafael Araújo, 2004

### 3.3 - Os Solos

Os solos do município de Londrina são de origem basáltica, que variam do tipo de fertilidade de acordo com a topografia e estrutura geológica.

O solo é de profundidade variável, indo de várias dezenas de metros, nos espigões, até menos de um metro, próximo aos ribeirões, onde, na maioria das vezes, a água flui sobre a superfície compacta do basalto.

A área de estudo possui solo de granulação extremamente fina (argilosa), segundo ROCHA, 1986, apresentando 81% de argila e 12% de silte, em sua granulação.

Na porção médio-superior da Bacia do Ribeirão Cambé encontramos no topo solos do tipo LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado, na média até a baixa vertente, LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado e NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado em profundidades próxima ao ribeirão e na parte inferior da bacia solos do tipo Associação NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico em declividades acentuadas com profundidade de até 30 cm, LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico a moderado, em profundidades maiores que 90 cm e com declividades que variam até 20 %.

Segundo Nascimento (2003), os LATOSSOLOS originam-se a partir de diversas rochas, sob distintas condições climáticas e diferentes tipos de vegetação. Ocorrem normalmente em áreas de relevo plano e suave ondulado, o que propicia maior infiltração de águas pluviais, diminuindo, assim, o escoamento concentrado superficial e sub-superficial. Por suas características morfológicas, os LATOSSOLOS não são propícios a impactos ambientais, como a formação de erosões. No entanto, dependendo do tipo de sua utilização, pode-se ocasionar sua compactação, diminuição da porosidade e permeabilidade, aumentando o escoamento concentrado das águas pluviais e, conseqüentemente, o desenvolvimento de erosões lineares. No caso da microbacia do ribeirão Cambé, as erosões encontradas em locais formados por LATOSSOLO são, geralmente, associadas a esse fato.

### 3.4 - A Rede Hidrográfica

O sistema de drenagem natural das águas é um importante aspecto que deve ser considerado em uma bacia hidrográfica, pois controla o escoamento superficial, de forma a evitar os problemas, como enchentes, erosão do solo, assoreamento, alagamentos etc.

Para gerar o mapa da rede hidrográfica, foi efetuado o registro da carta topográfica através do estabelecimento dos pontos de controle ou GCP (Ground Control Points) Só então foi então definido um Modelo de Dados do tipo imagem, tornando possível a etapa de importação da base cartográfica georreferenciada. Na etapa seguinte foram criados os Planos de informação para fazer parte do Mapa da Rede Hidrografia, apresentando a hierarquia fluvial da Micro Bacia do Ribeirão Cambé.

Utilizando-se técnicas de identificação de divisores de águas e cotas altimétricas respeitando as curvas de nível, com seus respectivos valores, definiu-se como um polígono fechado, ajustando-se os vetores no *software* SPRING. O limite desempenha papel fundamental para identificação da região, além de ser capaz de calcular a área do projeto com extrema acurácia.

Para a digitalização da rede hidrográfica, utilizou-se carta topográfica da cidade de Londrina - divisão de lotes e glebas perímetro de expansão urbana na escala 1:20000 e atualizando-a com imagem processada do satélite SPOT-5, de 18 de Janeiro de 2004, com resolução espacial 2,5 metros: Esse processo estabelece linhas vetoriais desprovidas de valores numéricos. Após a digitalização, as linhas foram poligonizadas e a elas atribuídas a classificação hierárquica para cada curso de água. A hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Isso é realizado para facilitar e tornar mais objetivo o estudo morfométrico (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980). Estas classes receberam um valor referente ao grau de ordenação a que pertenciam os canais dispostos na carta-base, tornando possível sua hierarquização e os menores canais, sem tributários são considerados como de primeira ordem.

Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens e, assim, sucessivamente (STRAHLER, 1952).

Quanto à análise da morfometria da micro-bacia, temos que: A densidade de drenagem obtida na micro bacia foi de  $0,83 \text{ km/km}^2$ , o que significa pouca densidade de drenagem, portanto, baixa susceptibilidade à erosão, segundo a classificação utilizada por Christofoletti (1969) que descreve que bacias com  $Dd < 7,5 \text{ (Km/Km}^2)$  são consideradas baixa,  $7,5-10 \text{ (Km/Km}^2)$  são consideradas média e  $> 10 \text{ (Km/Km}^2)$  são consideradas de alta densidade

de drenagem. O Gradiente do Canal principal (GCP) teve como resultado 8,8m/km; O índice de sinuosidade foi: Valores altos > 1,5; valores médios 1,1 à 1,5 e valores baixos < 1,1. O coeficiente de manutenção dói de 1,38 km<sup>2</sup>/m; O valor obtido para o Ribeirão foi de 0,69 Km.

De acordo com Christofolletti (1980), a amplitude altimétrica máxima é representada pela diferença entre o ponto mais elevado e a desembocadura do canal principal. A *Hm* do sistema hidrográfico em análise foi obtida através da diferença entre o ponto mais elevado (650 m) e o de menor elevação (380). Desta forma, a amplitude obtida foi de 270 m.

Comparando-se os resultados obtidos, percebe-se que o maior gradiente do Ribeirão Cambé encontra-se na porção média inferior, representando 54% do total da inclinação, enquanto 46% desta encontram-se na porção média superior. Comparando a *Rr* com *Gcp*, pode-se avaliar o grau de incisão dos canais fluviais, ou o grau de dissecação do relevo. Quanto maior for a diferença entre ambos, maior será o grau de entalhamento do canal ou dissecação do relevo. No presente caso, o *Rr* é de 10m/km e o *Gcp* é de 8,8m/km verifica-se que o índice de entalhamento do canal é baixo, ou seja, o leito do canal principal não é muito encaixado, desenvolvendo vertentes pouco íngremes, portanto, menos suscetíveis à erosão. Apenas quando há ação antrópica, como, por exemplo, desmatamento em fundo de vales.

Na porção média inferior da micro bacia, o grau de inclinação é maior e o relevo é mais ondulado, proporcionando um escoamento superficial maior, ou seja, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, o que se traduz em maior velocidade para as massas de água em movimento e, conseqüente, maior poder erosivo.

A aplicação da análise morfométrica facilita a compreensão de forma integrada dos processos hidrogeomorfológicos que ocorrem numa bacia hidrográfica, mesmo que tenha sofrido intervenções antrópicas, pois, a partir de uma análise global, pode-se setorizar os seus elementos e identificar a participação isolada de cada um.

A análise morfométrica do Sistema Hidrográfico da microbacia do Ribeirão Cambé apresentou resultados distintos do diagnóstico ambiental da área, permitindo identificar as características naturais da rede hidrográfica e alterações dos parâmetros morfométricos da rede hidrográfica devido à intervenções antrópicas.

Esse processo estabelece padrões utilizados em bacias hidrográficas, especialmente no que diz respeito aos cálculos referentes à extensões da rede hidrográfica, densidade de drenagem, grau de ordenação, extensão do

rio principal entre inúmeras outras relações digitais de extrema eficácia e precisão.

### 3.5 - Vegetação

Para extrair dados da imagem do satélite SPOT-5, referentes à vegetação da área pesquisada, adotaram-se procedimentos como a extração do NDVI (Índices de Vegetação por Diferença Normalizada) e o (DFC) índice de Densidade de floresta ciliar.

Assim, com base na rede de drenagem digitalizada e do mapa gerado de NDVI e pela técnica de distância de *buffer*, que são mapas gerados de geo-campos contendo as distâncias de cada ponto do mapa a um geo-objeto de referência, podendo ser representado por um ponto, linha ou região, no caso, a referência foram os canais de drenagem e rios, delimitou-se a floresta ciliar, determinando, para as margens florestadas, uma distância de aproximadamente 30 e 50 metros, de acordo com a legislação.

A extensão de floresta ciliar foi dimensionada em quilômetros em toda microbacia, bem como foram totalizados os números de fragmentos florestais ciliares. Com estes dados, foram elaborados e aplicados o índice de densidade de floresta ciliar. O índice de densidade de floresta ciliar (DFC) foi obtido por meio da seguinte equação:

$$DFC = (CFC/CD)/2$$

Onde DFC = densidade de floresta ciliar, CFC = comprimento total de floresta ciliar (km), e CD = comprimento total dos canais de drenagem (km). O resultado obtido foi de, aproximadamente, 0,4, o que significa que há uma carência significativa de mata ciliar.

Verificou-se por meio dos dados obtidos que a mata original classificada como floresta tropical subperenifolia ou mata pluvial tropical Maack, (1981) está praticamente ausente na área de estudo, devido ao avanço do núcleo urbano, apresentando considerável deficiência em termos de mata ciliar.

A primitiva destruição das matas no estado do Paraná representava a expressão de um equilíbrio natural no que se refere aos fatores climáticos e qualidade dos solos. Entretanto, com a destruição irracional das matas e a agricultura intensiva deixou poucas reservas florestais de tamanho reduzido, alterando o equilíbrio natural da média temperatura. Este fenômeno desempenha papel de grande importância na química do solo e principalmente na economia de água de uma zona (MAACK, 1968).

### 3.6 - O Clima

O tipo climático da área em estudo pode ser definido como do tipo Cfa, caracterizado como um clima subtropical úmido, sem estação seca e com verão quente, dominado por sistemas atmosféricos intertropicais (tipo Aw – clima tropical úmido com chuvas de verão).

Os meses mais quentes do ano, ou seja, os de totais térmicos mais elevados, são os da estação de verão, com mais frequência em dezembro, janeiro e fevereiro, que coincidem com o solstício de verão sobre a área. Ao contrário, os meses mais frios, junho e julho, coincidem com o solstício de inverno. Julho é considerado o mês mais frio do ano e é também o de maior incidência de geadas na área, de maior ocorrência nos fundos de vales.

Maack (1968) classificou a região como pertencente à Zona Climática Tropical-Subtropical, a qual possui temperatura média anual de 20,6°C, sendo que o mês mais frio e mais seco o de julho, com 16,8°C e 56,5mm. De acordo com o IAPAR, a temperatura do ar em Londrina, nos últimos anos, obteve uma temperatura máxima absoluta, variando de 29,10°C a 39,20°C, enquanto que a temperatura mínima absoluta oscila entre -1,0°C a 12,5°C.

Londrina apresenta um total pluviométrico que varia de 1.500 a 1.700 mm, sendo os meses de dezembro e janeiro como os de maiores índices pluviométricos durante o ano. Para a velocidade média dos ventos, em metros por segundo, temos o período com maior velocidade média é a primavera, com 2,8 m/s, enquanto que as menores velocidades ocorrem nos meses de maio/junho, com 2,1 m/s.

Levando em consideração as médias pluviométricas de Londrina, a área em estudo vem sofrendo processos de escoamento, provocando escoriações, erosões e assoreamento em fundos de vales pela ausência de vegetação ciliar, além de enchentes devido à pavimentação de ruas, aumento do número imóvel etc., ou seja, ainda carece de planejamento urbano.

### 3.7 - Hipsometria

Os estudos hipsométricos possibilitam conhecer o relevo, que, por sua vez, interfere decisivamente no processo erosivo, principalmente através do escoamento superficial das águas, interagindo desta forma diretamente no comportamento estrutural de bacias hidrográficas. A composição topográfica de uma área drenada está estritamente relacionada com fenômenos de erosão que se processam na superfície e também, através da hipsometria, é possível detectar o índice de dissecação do relevo.

A curva hipsométrica representa graficamente a variação (em relação ao nível do mar) da elevação da superfície do terreno da bacia. Pode-se estimar a percentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo de uma determinada altitude.

Para o trabalho foram determinadas as percentagens em meio digital, utilizando um MDT (Modelo Digital do Terreno).

Fazendo-se uma divisão dos valores de altitude em intervalos de amplitude de 30 metros, partindo da cota 380m até a cota máxima encontrada, 650 m, foi possível obter um valor da parcela da área que correspondesse a cada intervalo, gerando 9 classes, com 100% de área abaixo da cota máxima.

O mapa foi gerado a partir do fatiamento e associação dos valores hipsométricos determinados para cada classe criada previamente no modelo de dados do SPRING, que foi desenvolvido através de cálculos matemáticos, utilizando-se a grade retangular para sua geração. Este processo se deu automaticamente no software SPRING, necessitando-se apenas atribuir ao sistema alguns comandos básicos.

O Mapa Hipsométrico de Perfis do Terreno, com dado do tipo MDT, gerou uma superfície topográfica, que descrevem a elevação dos pontos (valor dez) ao longo de uma linha. Este aplicativo foi realizado sobre dados do modelo Digital (isolinhas) no formato raster, expondo-se em um gráfico o valor de z, equivalente aos pontos que definem a trajetória. O perfil foi traçado a partir de linhas previamente digitalizadas, pertencentes ou relacionadas a dados do modelo temático.

Observou-se que a classe 520-550 metros ocupa maior área na microbacia, com 28% da área total e a classe com menor ocupação é 610-640, com apenas 1,5% da área total.

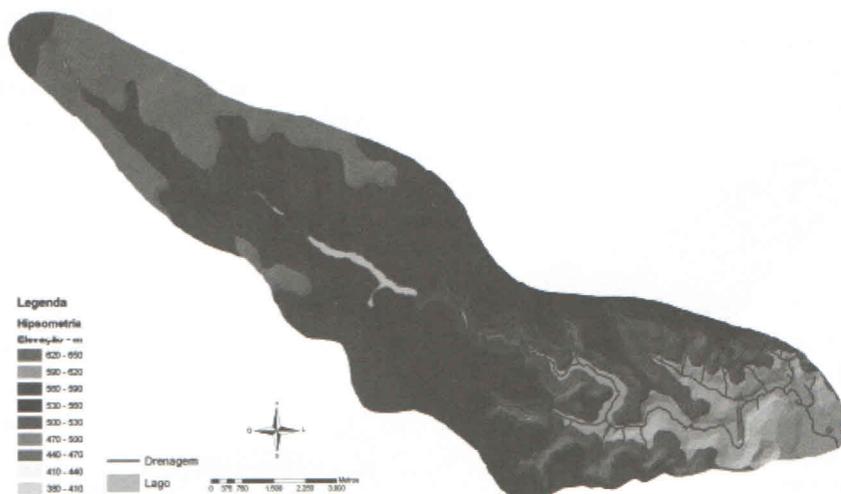


Fig. 3: Hipsometria da área

Org: Rafael Araújo, 2004.

## 6.8 - Declividade

Considerando um Modelo Digital de Terreno (MDT) de dados altimétricos extraídos da carta topográfica, foi traçado um plano tangente a esta superfície num determinado ponto (P), a declividade em P correspondendo a inclinação do plano em relação ao plano horizontal. Dando continuidade aos processos em desenvolvimento, foi então gerado o Mapa de Declividade. Contudo, para gerar a declividade foi necessário executar um fatiamento no Software SPRING. O fatiamento no SPRING consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular. Os temas da imagem temática resultante correspondem a intervalos de valores de cotas (fatias). Dessa forma, um Plano de Informação da categoria numérica origina um Plano de Informação (Layer) de categoria temática, representando um aspecto particular do modelo digital do terreno, conseqüentemente, cada fatia deve ser associada a uma classe temática previamente definida no esquema conceitual do Banco de Dados ativo.

A declividade foi determinada em cada unidade de paisagem pelo mapeamento representativo.

Foram adotados as seguintes classes de declive e seus respectivos limites: 0 - 6% (relevo plano); 6 - 20 % (relevo suave ondulado); 20 - 30 % (relevo ondulado); 30 - 46 e > 46% (relevo forte ondulado).

A magnitude dos picos de enchentes e a infiltração da água trazem como consequência, maior ou menor grau de erosão, dependendo da declividade da microbacia (que determina maior ou menor velocidade de escoamento da água superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e uso da terra.

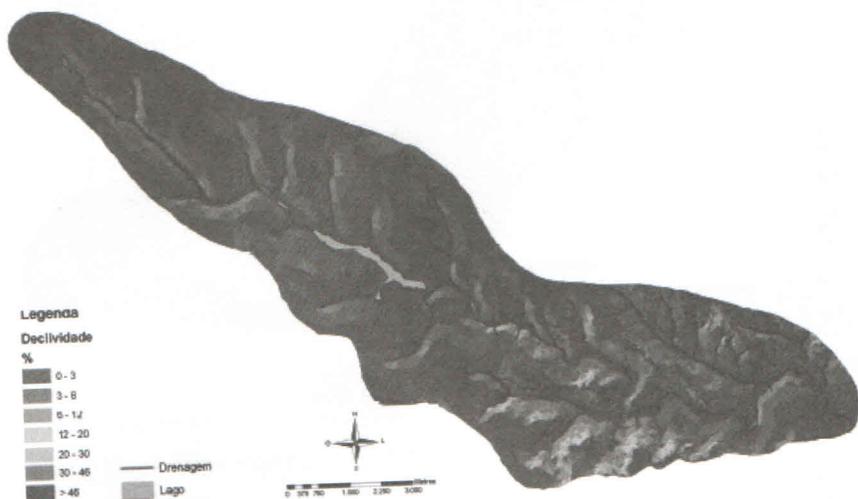


Fig. 4: Declividade da área

Org: Rafael Araújo, 2004

Observa-se que a declividade é o principal fator do relevo condicionante da erosão. Sua variação determina formas e feições da paisagem, ditando também as potencialidades de uso e restrição ao aproveitamento das terras. O mapa de declive obtido apresentou uma boa correlação com os elementos da geomorfologia, de acordo com as observações visuais feitas durante o trabalho de campo, possibilitando, desta forma, o seu uso na avaliação da erodibilidade, constituindo-se um importante meio de apoio a estudos relativos ao uso das terras.

Foi observado que 10,7 km<sup>2</sup>, correspondentes a 14% da área total, apresentaram terrenos inclinados em relevo ondulado e em terrenos forte ondulado classes D (declive de 12 a 20%), E (declive de 20 a 30%) e F (declividade de 30 a 46%), com escoamento superficial rápido, na maioria dos solos, e maior suscetibilidade à erosão, comprometendo o cultivo intenso. O uso de máquinas agrícolas para essas classes é parcialmente prejudicado. Constatou-se também que apenas 1,2 km<sup>2</sup>, correspondentes a 0,4% da área total, apresentaram declive máximo de > 46% (classe G), caracterizando, assim, áreas muito inclinadas, onde o uso de máquinas agrícolas é prejudicado,

com solos extremamente susceptíveis à erosão hídrica, sendo o escoamento superficial muito rápido. Nessa classe, a grande maioria dos solos é extremamente suscetível à erosão e os terrenos devem ser utilizados somente para cultivos perenes, pastagens bem conduzidas ou reflorestamentos. A maior parte das máquinas agrícolas pode ser usada, mas com dificuldades. Há sérios impedimentos ao seu uso, exigindo práticas muito complexas (projetos de drenagem) devendo ser mantidos preferencialmente como áreas de preservação ambiental.

Observa-se que a maior parte da área estudada apresenta relevo plano e suavemente ondulado, 70,4 km<sup>2</sup> das classes A e B, e as classes com relevos mais ondulados C, D e E, com 21,6 km<sup>2</sup>, e declividades bem acentuadas F e G, com 1,2 km<sup>2</sup>, se encontram na sua maioria na região média inferior da microbacia.

O escoamento superficial em geral é muito lento, lento ou médio. A erosão hídrica pode ser controlada por práticas simples, no entanto, a exploração intensiva dessas terras só é possível com práticas mais complexas de conservação do solo (plantio direto, faixas de retenção e terraceamento).

### 3.9 - Geomorfologia

A área de estudo assenta-se sobre a morfoestrutura composta pela Bacia Sedimentar do Paraná, congregando o recobrimento de lavas basálticas, denominado geologicamente como Formação Serra Geral, pertencentes à Era Mesozóica e ao Grupo São Bento, do Período Triássico/Cretáceo, há 120 milhões.

O aquecimento e a umidificação dos climas do planeta, aliados ao desenvolvimento de uma exuberante cobertura vegetal sobre os derrames basálticos do Trapp, a partir do Pleistoceno e do Holoceno, possibilitaram a intensificação do intemperismo na área, o que deu origem a um tipo de solo muito fértil que possui textura argilosa, alta fertilidade natural e profundidades, que variam de 125 a 130 cm.

De acordo com Maack (1981), a área situa-se no terceiro Planalto ou Planalto de *trapp* do Paraná ou de Guarapuava, compreendendo uma paisagem de espigões e chapadas dos derrames basálticos. É sobre as rochas da Formação Serra Geral, ou seja, na área central da Bacia Sedimentar do Paraná, sobre os LATOSSOLOS e NITOSSOLO, apresentando em sua estrutura uma leve inclinação para oeste, em direção ao rio Paraná.

Porém, o subsistema hidrográfico do município de Londrina corre no sentido predominantemente de oeste para leste, uma vez que o relevo está

genericamente inclinado da região de Londrina para o Rio Tibagi, que tem sentido sul-norte, desaguando no Rio Paranapanema, um dos tributários do Rio Paraná.

O constante trabalho erosivo propiciou, no município de Londrina, a formação de colinas suavemente arredondadas, com a maioria das vertentes, que são os elementos predominantes do relevo, de formato côncavo e convexo e, em menor proporção, de formato angular/retilíneo delimitado por espigões.

A partir de várias análises, foram definidas unidades geomorfológicas: Áreas de relevo convexo delimitado por espigões locais; Áreas de relevo geralmente côncavo e convexo, pouco movimentado, com declives suaves ou pouco acentuado, com desnivelamentos pequenos, associados a Formação Serra Geral. Áreas com topos arredondados e vertentes ravinadas. Drenagem com média a baixa densidade, padrão subparalelo a dentrítico, vales fechados, declividade acentuada  $>20\%$ ; Planícies Aluviais: Relevo praticamente planos, associados à deposição de sedimentos fluviais que ocorrem nas margens do ribeirão Cambé, próximo ao deságüe no ribeirão Três Bocas, formando uma planície aluvial pré-atual (terraços) e atual, geradas por processos de sedimentação detrítica no terreno, com declividades inferiores a  $5,3\%$ .

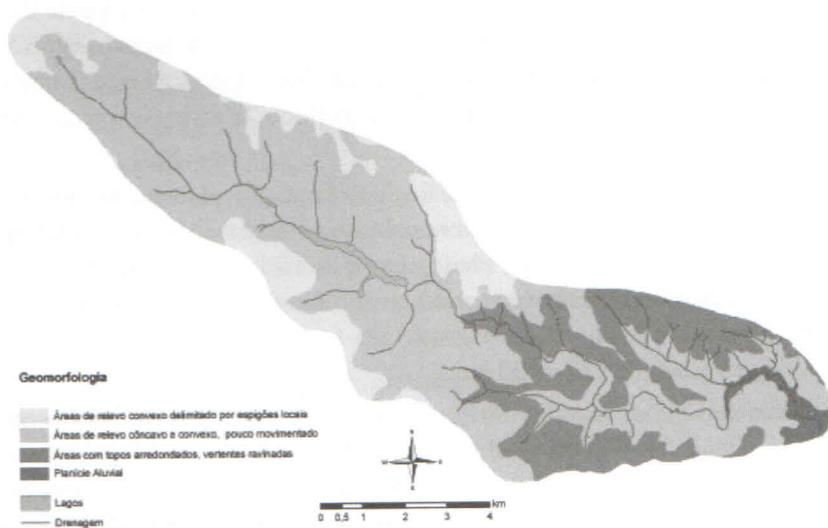


Fig.5: Geomorfologia da área

Org. Rafael Araujo, 2004

## 4 - Considerações finais

Londrina, como todas as médias e grandes cidades brasileiras, passou por intenso desenvolvimento populacional. Essa transformação em sua distribuição espacial acarretou inúmeras conseqüências para sua estrutura, sendo uma delas o advento de problemas ambientais.

Como todo componente da paisagem, a microbacia hidrográfica do Ribeirão Cambé está sujeita a sérios impactos ambientais de origem antrópica. Sendo assim, somente a ação integrada entre comunidade e órgãos responsáveis por sua gestão pode minorar esses problemas.

Apesar de a cidade possuir uma legislação que, em teoria, se preocupa com o meio ambiente e se propõe administrar esses recursos da melhor maneira possível, a realidade constatada por esta pesquisa é completamente diferente.

As ocupações inadequadas às margens dos cursos d'água nas grandes cidades, inclusive em Londrina, provocam intensas mudanças no sistema hidrológico. De acordo com Drew (1986), o avanço brutal da urbanização muitas vezes tem problemas crônicos que decorrem da interação dos recursos naturais e criam dois fatores que são essenciais na modificação dos rios e córregos urbanos: primeiro, a bacia, em que proporção, se tornou impermeável pela construção e, segundo, como está estruturado o sistema de drenagem artificial (drenagem pluvial e esgoto) instalado. É de suma importância o reconhecimento desses elementos, uma vez que estes são os principais vetores de problemas ambientais nas cidades.

A definição de que uma bacia hidrográfica é o elemento integrador entre natureza e da sociedade, é um conceito de extrema dificuldade de implementação na gestão da cidade. Londrina, apesar de possuir leis e um Plano Diretor, que contemplam esses elementos de forma bem abrangente, não vem colocando em prática as definições delimitadas para a administração de seus recursos naturais.

Com a realização desse trabalho, constatou-se uma série de problemas ambientais como: o desmatamento e a intensa ocupação de áreas, consideradas de preservação permanente, são evidentes ao longo de todo o Ribeirão. O levantamento do histórico de expansão da cidade, os aspectos físicos da microbacia e o diagnóstico de alguns problemas ambientais possibilitaram a identificação e representação cartográfica de alguns elementos ambientais negativos gerados na área de estudo. Contudo, é necessário um estudo mais rigoroso que contemple alguns itens que não foram abordados nesta pesquisa.

## Referências

- aB'SABER, A.N. O relevo Brasileiro e seus problemas. In: AZEVEDO, A. (Coord.). **Brasil a Terra e o Homem**. v. 1. São Paulo: Nacional, 1964. 249 p.
- \_\_\_\_\_. **Questão Ambiental**. São Paulo: Terra Livre, 1988. 77 p.
- ARAÚJO, D.E.; PRANDI, E.C.; VILAR, O.M. Os prejuízos e as áreas de risco à expansão urbana provocados pela erosão, Marília-SP. In: III Simpósio Latino Americano Sobre Riesgos Geológicos Urbanos, 1990, Cocha Bamba. **Anais...** Cocha Bamba, Bolívia, 1990. p. 325 a 402.
- ARONOFF, S. **Geographical Information Systems: a management perspective**. Ottawa: WDI Publications, 1989. 294 p.
- BAND, L.E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 22, p. 15-24, 1986.
- BAND, L.E. A terrain-based watershed information system. **Hydrological Processes**. v. 3, p. 151-162, 1989.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 235 p.
- BITAR, O.Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: IBGE/DIGEO-IPT, 1995. 247 p. (Série Meio Ambiente).
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographic information system for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986. 193 p.
- CÂMARA, G. Anatomia de um SIG. **Fator GIS: a Revista do Geoprocessamento**, São Paulo, n. 4, p. 11-15, 1994.
- CAMPBELL, D.J.V. Environmental management landfill sites. **Jornal of the Institution of Water and Environmental Management**, v. 7, p. 170-174, 1993.
- CASSETI, V. **Levantamento Sedimentométrico no baixo Ribeirão João Leite – Goiânia**. Goiânia: UFG, 1987. 166 p.
- CORSON, W.H. **Manual global de ecologia: o que você precisa saber a respeito da crise no meio ambiente**. Trad. A.G. Canaru. São Paulo: Contexto, 1993. 413 p.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1993. 49 p.
- BOLOS, M. Problemática actual de los estudios de Paisaje Integrado. **Revista de Geografia**, Barcelona, v. 1, n. 4, p. 103-136, set. 1981.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blüchler, 1980.

- (CODEM). **Londrina a situação 66**. Curitiba: CODEM, 1966. 172 p.
- CORREA, A.R; GODOY,W; BERNARDES, L.R.N. **Características climatológicas de Londrina**. Londrina: IAPAR, 1982. 84 p.
- PIREZ, C. D. et al. (DAEE); Oliveira, A. M. S. et al. (IPT). Erosão: prevenir é o melhor remédio. **Revista Águas e Energia Elétrica**, São Paulo, n. 16, p. 215-226, 1990.
- DOYLE, D. Sustainable development: growth without losing ground. **Journal os Soil and Water Conservation**. v. 46, n. 1, p. 8-12 1991.
- DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1986. 64 p.
- DUINKER, P. N.; BEANLANDS, G. E. The significance of environmental impacts: na exploration of the concept. **Environmental Management**. New York, v. 10, n. 2, p. 166-170, 1986.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Carta de solos do estado do Paraná**. Londrina: Embrapa, 1981. Escala: 1:500000
- FERREIRA, M. C. Modelagem cartográfica aplicada a mapeamentos de susceptibilidade a danos ambientais: um ensaio no SIG IDRISI. **Geociências**, São Paulo. v. 15, n. 2, p. 485-502, 1996.
- FERREIRA, M. C. Utilização de modelos digitais de terreno na estimativa de enchentes em bacias hidrográficas: uma avaliação preliminar em escala regional. **Geociências**. São Paulo. v. 16, n. 1, p. 243-255, 1997.
- FERREIRA, M. C. Análise espacial da densidade de drenagem em sistema de informação geográfica através de um modelo digital de distâncias interfluviais. **Geociências**. São Paulo, v. 18, n. 1, p. 7-22, 1999.
- FORNASARI FILHO, N. (Coord.). **Alterações no meio físico decorrente de obras de engenharia**. São Paulo: IPT, 1992. 165 p. (Boletim 61).
- GALETI, P.A. **Conservação do Solo, Reflorestamento-Clima**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1989. 157 p.
- GUERRA, A.J.T.; VITTE, A.C. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 88 p.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, B.S. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 138-149 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha topográfica**: Londrina. SF-22-U-II-4. Rio de Janeiro: IBGE, 1972. Escala: 1:50.000.
- JAKUBAUSKAS, M.E; WHISTLER, J.L; DILLWORTH, M.E; MARTINKO, E.A Classifying remotely sensed data for use in an agricultural

nonpoint - source pollution model. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 47, n. 2, p. 179-183, 1992.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing**. New Jersey: Prentice-Hall, 1986. 379 p.

LEOPOLD, L.B; CLARKE, F.S; HANSHAW, B.B; BASLEY, J.R. (1971). **A procedure for evaluating environmental impact United State Geological Survey**; circ. 645. Washington, DC. p. 13.

MAACK, R. **Geologia física do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: 1968. 185 p.

MATHER, P. M. (1987). **Computer processing of remotely-sensed images**. Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore: John Wiley e Sons. p. 352.

MEISELS, A.; RAIZMAN, S.; KARNIELI, A. Skeletonizing a DEM into a drainage network. **Computers e Geosciences**. v. 21, n. 1, p. 187-196, 1995.

MOIK, J.G. **Digital Processing of remotely sensed images**. Washington, DC: NASA, 1980. 330 p.

MONBEIG, P. **Pioneiros e Fazendeiros de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1984. 257 p.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 84 p.

MONTEIRO, Carlos Augusto de F. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática. **Revista Geográfica**. Rio de Janeiro, v. 31, n. 57, p. 29-44, 1962.

NASCIMENTO, M. A. L. S. do; SALES, M. M. **Diagnóstico das Erosões Urbanas em Goiânia**. v. 1. Goiânia, 2003. 115 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA. **Base Cartográfica da cidade de Londrina divisão de lotes e glebas perímetro de expansão urbana**. Londrina, 1994. Escala 1:20.000.

RANZANI, G. **Manual de levantamento de solos**. São Paulo: EdUSP, 1965. 79 p.

REBOUÇAS, A.C. Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia do Paraná no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologias, 30, 1978, Recife. **Anais...** Recife, 1978, v.6, p. 2.963-2.976.

ROSS, J.L.S.R.; SANTOS, J. E. Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 19, n. 100, p. 40-45, 1995.

ROCHA, G. C. O solo da bacia do Ribeirão Cambé. **Departamento de Geociência**. Londrina, n. 9, p. 56, s/d.

SAITO, I.; GRIGG, N. S.; WARD, R.C. Water-quality data management: survey of corrente trend. **Journal of Water Resources Planning and Management**. v. 120, n. 5, p. 587-612, 1994.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. New York: Academic Press, 1983. 249 p.

SHENG, T.C.; BARRETT, R. E.; MITCHELL, T.R. Using geographic information systems for watershed classification and rating in developing countries. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 52, n. 2, p. 84-89, 1997.

SPOT 5: imagem de satélite. Toulouse, França: **Spot Image**. 18-01-2004. Banda Pancromática resolução 2,5m. Escala 1:10000.coordenadas 707/396.

SPOT 5: imagem de Satélite. Toulouse, França: **Spot Image**. 18-01-2004. Bandas Multiespectrais resolução 10m, Escala 1:25000, Coordenadas 707/396. canais 1,2,3 composição colorida R.G.B.

TOMMASI, L.R. **Estudo de impacto ambiental**. São Paulo: CETESB, 1994. 354 p.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977. 177 p.

TUNDISI, J. G.; Schiel, D. **Sistema de atualização de professores de ciências e geografia com a utilização da bacia hidrográfica como unidade: Conceitos Básicos, Projeto e Perspectivas**. São Carlos: CRHEA/ CDCC/IFQSC/USP, 1986. 275 p.