**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE UMA
BACIA HIDROGRÁFICA NA RESERVA BIOLÓGICA DE
TINGUÁ - RJ**

ALEXANDRE JOSÉ DA ROCHA MOREIRA
Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Ciências, Área de Concentração: Ciências Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro de 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Moreira, Alexandre José da Rocha
M835u Utilização de um sistema de informações geográficas
na caracterização de uma bacia hidrográfica na Reserva
Biológica de Tinguá - RJ. Piracicaba, 1994.
91p. ilus.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica - Caracterização 2. SIG I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Piracicaba

CDD 551.483

**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE UMA
BACIA HIDROGRÁFICA NA RESERVA BIOLÓGICA DE
TINGUÁ - RJ**

ALEXANDRE JOSÉ DA ROCHA MOREIRA

Aprovada em: 06.12.1994

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto	ESALQ/USP
---	-----------

Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi	ESALQ/USP
-------------------------------------	-----------

Prof. Dr. Luiz Henrique Aguiar de Azevedo	FEN/UERJ
---	----------

Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO
Orientador

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Hilton Thadeu Zarate do Couto que, dentro do seu pouco tempo disponível, ainda aceitou acolher a orientação da minha Dissertação.

Aos Professores Carlos Alberto Vettorazzi, do Departamento de Topografia da ESALQ e Walter de Paula Lima, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ, pela eficiente co-orientação.

Ao Professor Luiz Henrique Azevedo, do Departamento de Cartografia da UERJ, pela disponibilidade de participar da banca da Dissertação e por ter sido o real responsável pela minha entrada no curso de pós-graduação.

Ao Professor Amandio Teixeira, do CEAPLA da UNESP/Rio Claro, por introduzir-me no SIG, teórico e praticamente.

Aos Engenheiros Florestais Yosio Shimabukuro e Pedro Hernandez, do INPE, e Adriano, da FUNCATE, pelo indispensável apoio que me deram na manipulação das imagens de satélite.

Ao Professor Luiz Alberto Quintanilha e à Analista Ingrid Robrahn, do IPT/SP, pelo auxílio com o "software" de traçado da drenagem.

À equipe do IBAMA em Tinguá: Carlos Fernando, Almir, Sérgio, Vladimir e o "ecologista". Por todo apoio me dispensado sem pestanejar, na minha coleta de campo.

À Oceanógrafa Marcia Helena da Rocha Moreira (minha irmã), pelo apoio na análise das minhas amostras de campo e à minha outra irmã, Mírian Inês da Rocha Moreira, pela ajuda na editoração da Dissertação.

Ao sempre citado Miltinho, do DCF/ESALQ, sempre disponível a qualquer problema de informática e etc.

Aos meus pais, Celsio de Oliveira Moreira e Constança Maria da Rocha Moreira, pelo constante lutar no sentido de melhor educar os seus filhos e, junto com a minha vó Antônia Rocha, pelos diversos "empurrões" para que esta Dissertação saísse.

A aquele que nunca me abandonou durante as horas alegres e tristes, de estudo e de lazer, durante todo o meu curso e a minha vida, sempre acreditando em mim, mais do que eu n'Ele. Obrigado SENHOR !!!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	vii
SUMMARY	ix
INTRODUÇÃO	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1) Características dos dados espaciais	3
2) Componentes de um SIG	3
2.1) Entrada de dados	4
2.2) Armazenamento e manipulação dos dados	6
2.3) Recuperação dos dados	7
2.4) Análise dos dados	8
2.5) Exibição	8
2.6) Implementação	9
3) Base de Dados	10
3.1) Dados de Sensoriamento Remoto	11
3.2) Dados Topográficos	12
3.3) Dados de qualidade da água	12
4) Atributos	13
4.1) Atributos Topográficos	13
4.1.1) Atributos Primários	14
4.1.2) Atributos Secundários	18
4.2) Atributos de Uso do Solo	21
4.3) Atributos de Qualidade de Água	23
5) SIG e Bacias Hidrográficas	25
METODOLOGIA	28
1) Área de Estudo	28
2) Bases Cartográficas e Dados Orbitais	31
3) O Sistema de Informação Geográfica	31
4) Atributos Topográficos	33
4.1) Atributos Primários	33
4.2) Atributos Secundários	34
5) Atributo de Uso e Cobertura do Solo	35

SUMÁRIO (cont.)

	Página
6) Atributos de Qualidade D'Água	35
7) Análise do Comportamento das Variáveis	37
8) Diagnóstico da Bacia	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
1) Atributos Topográficos	42
1.1) Atributos Primários	42
1.2) Atributos Secundários	43
2) Reflectância	45
3) Qualidade D'Água	46
4) Susceptibilidade à erosão	49
CONCLUSÃO	50
BIBLIOGRAFIA	53
APÊNDICE I - Os Mapas	69
APÊNDICE II - Variogramas	84

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Esquema do processo de superposição de planos de informações pelo processo "raster".	5
Figura 2 - Representação esquemática do processo vetorial de armazenamento de dados espaciais, como da topologia.	6
Figura 3 - Diagrama que demonstra as diferentes combinações entre concavidades, onde, (r) é retilíneo, (cc) é côncavo e (cx) é convexo.	15
Figura 4 - Mapa de localização da Bacia do rio Boa Esperança na Reserva Biológica do Tinguá - RJ.	29
Figura 5 - Representação da Bacia do Rio Boa Esperança 3-D	30
Figura 6 - Climograma da estação pluviométrica em Xerém, próximo à Reserva. .	31
Figura 7 - Localização dos pontos amostrais, dos rios e das curvas de nível.	36
Figura 8 - Representação de um variograma esférico, sendo, (a) o alcance, (h) o patamar.	39

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Relação entre diferentes propriedades do solo e a sua posição na declividade.	16
Tabela 2 - Classes dos atributos primários da Bacia do rio Boa Esperança - RJ. .	34
Tabela 3 - Classes dos atributos de qualidade d'água de amostras coletadas na Bacia do Rio Boa Esperança - RJ.	37
Tabela 4 - Clases de cada parâmetro utilizado para a obtenção, através de cruzamento, de cada classe de Susceptibilidade à Erosão.	41
Tabela 5 - Índices Morfométricos e outras constantes da Bacia do Rio Boa Esperança.	44
Tabela 6 - Classes de Reflectância e suas médias (m), desvios padrões (d.p.), coeficientes de variação (CV%) e o coeficiente de determinação para o modelo (R2).	45
Tabela 7 - Percentagem de cada classe de qualidade d'água incluída em cada classe dos Atributos Primários e do Plano de Susceptibilidade à Erosão, na Bacia do Rio Boa Esperança - RJ.	47
Tabela 8 - Percentagem de cada classe de qualidade d'água incluída em cada classe de qualidade d'água, na Bacia do Rio Boa Esperança - RJ.	48

UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA RESERVA BIOLÓGICA DE TINGUÁ - RJ

Autor: ALEXANDRE JOSÉ DA ROCHA MOREIRA

Orientador: PROF. DR. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

RESUMO

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são atualmente uma das alternativas mais eficientes para o armazenamento, manipulação, análise e monitoramento de informações ambientais referenciadas geograficamente.

Bacias hidrográficas constituem unidades naturais para a análise destas informações ambientais, pois apresentam características próprias as quais são utilizadas para estudar os efeitos antrópicos sobre os ecossistemas.

Este trabalho tem por objetivo a caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Boa Esperança, localizada na Reserva Biológica do Tinguá, no Estado do Rio de Janeiro, através da utilização de um Sistema de Informações Geográficas, o OSU-MAP.

Para tal, foram utilizadas: variáveis topográficas (gradiente, declividade, aspecto e concavidade) e morfométricas (densidade de drenagem, densidade hidrográfica, razão de textura, textura geológica e razão de forma), determinadas através de um Modelo Digital de Terreno da Bacia; variáveis satelitárias (reflectância), através dos canais 2, 4 e 5 do Landsat-TM, onde se efetuou uma classificação não-supervisionada por Componentes Principais.

Através do cruzamento destas variáveis foi obtido um novo plano de informação de Susceptibilidade à Erosão. Este plano e os demais anteriores foram cruzados com planos de qualidade d'água (sedimentos totais, condutividade elétrica e pH), obtidos a partir de análise de material hídrico coletado ao longo da drenagem da Bacia, com a finalidade de averiguar o modelo proposto.

No sentido de analisar o comportamento das variáveis envolvidas no trabalho e de verificar se a resolução espacial utilizada (50m x 50m) adequava-se à escala do trabalho (1:50000), foram traçados variogramas em duas direções para todas as variáveis.

O SIG utilizado, apesar da pouca robustez, foi adequado à manipulação proposta e as variáveis escolhidas serviram à finalidade de composição de um plano de Susceptibilidade à Erosão, verificada através dos planos relativos à qualidade d'água.

Somente o canal 2, do Landsat-TM, é que teve pouca significância no modelo de reflectância proposto, não permitindo uma maior discriminação das diferentes coberturas de solo da Bacia.

Os variogramas demonstraram, pela sua forma, que a resolução espacial utilizada foi adequada à escala de trabalho, apesar da anisotropia de algumas variáveis.

O Sistema de Informações Geográficas utilizado, aliado a outros "softwares" de tratamento e manipulação de dados, foi suficiente para o nível proposto, alcançando os objetivos esperados.

THE USE OF A GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM ON THE CHARACTERIZATION OF A WATERSHED AT THE BIOLOGICAL RESERVE OF TINGUA - RJ

Author: ALEXANDRE JOSÉ DA ROCHA MOREIRA
Adviser: PROF. DR. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

SUMMARY

The Geographical Information Systems (GIS's) are nowadays one of the most efficient alternatives for the retrieval, manipulation and analysis of georeferenced environmental information.

Watersheds constitute natural units to the analysis of these environmental information, because they have own characteristics that are used to study the effects produced by the man over the ecosystems.

This dissertation has as its object the characterization of the Boa Esperança watershed, at the Biological Reserve of Tinguá in Rio de Janeiro, through the use of a Geographical Information System, the OSU-MAP.

To do so, were used: topographic variables (gradient, slope, aspect and convexity) and morphometric ones (drainage density, river density, texture ratio, geological texture and form ratio), that were got from a Digital Elevation Model (DEM); remote sensing variables (reflectance), got from the bands 2, 4 and 5 of the Landsat-TM, that were used to make an unsupervised classification by Principal Components Analysis.

All these variables were crossed to obtain a new layer, the Erosion Susceptibility. And this layer was crossed with water quality layers (total sediment, conductivity and pH) that were got from analysis of the hydric material collected along the basin principal drainages, in order to average the proposed model.

Variograms in two directions, for all variables, were also plotted in order to analyse variables behavior in the basin and to verify the suitability of the geometric resolution (50m x 50m) to the scale (1:50000).

The GIS used was suitable to the proposed manipulation, despite of its

robustness, and the chosen variables reach their finality in composing the Erosion Susceptibility layer, that were verified through the water quality layers.

The band 2 of the Landsat-TM was not significantly in the proposed reflectance model, and so, it didn't allow a better different land uses discrimination at the basin.

The variograms form showed that the geometric resolution used was suitable to the scale, despite some variables' anisotropy.

The Geographical Information System, the OSU-MAP, with other data handling and manipulation softwares, was enough on the proposed level and got its expected objectives.

INTRODUÇÃO

Com o avanço das ciências ambientais e da tecnologia de sensoriamento remoto, mais e mais relações entre os componentes do meio ambiente, sejam abióticos ou bióticos (incluindo o antrópico), vêm sendo descobertas. Isso faz com que muitas variáveis sejam observadas, gerando uma infinidade de dados que precisam ser armazenados, tratados e analisados, visando melhor entender os fenômenos e buscar novas relações entre eles.

Como nas últimas décadas as alterações ambientais vem-se processando de forma muito rápida, percebeu-se urgência de monitorar diversos fatores do meio físico a fim de que se pudessem acompanhar suas variações espaciais e temporais. Isto vem gerando uma série muito grande de dados multivariados, que precisam ser armazenados e analisados.

Da maneira como o processo vinha sendo conduzido, crescia cada vez mais a probabilidade destes dados serem perdidos, sem que fossem utilizados, o que obrigava a novas coletas, gerando novos gastos ou mesmo inviabilizando tecnicamente os projetos, quando não mais existisse a possibilidade de recuperação dos dados.

Uma alternativa para o problema é a utilização dos chamados Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). **O Sistema de Informações Geográficas é um conjunto de procedimentos informáticos projetado para a coleta, codificação, armazenamento, análise e recuperação de dados geográficos, assim como para a apresentação de resultados diretamente relacionados com aqueles** (GARCIA et alii, 1980).

SIG e mapeamento digital não são sinônimos, embora tenham uma ligação em comum, por serem dependentes da disponibilidade da forma digital de dados espacialmente referenciados e do uso de mapas digitais como forma de saída do SIG (COPPOCK, 1988).

Nesse sistema, as entidades são descritas não somente por seus atributos temáticos,

como é o caso das bases de dados mais comuns, mas também, em primeiro lugar, pela sua localização geográfica e sua configuração espacial.

Poucas áreas no mundo podem ser consideradas não afetadas pelo Homem, mas a extensão desta influência varia apreciavelmente. Em muitas áreas o Homem exerce um importante controle nos padrões espaciais dos processos fluviais e, particularmente em uma escala média onde, por exemplo, o contraste entre as práticas agrícolas e entre áreas rurais e urbanas podem ser mais importantes que diferenças nas condições meteorológicas, geológicas e topográficas. A magnitude e a natureza destes efeitos podem ser consideradas ou em termos de suas influências detalhadas sobre a dinâmica dos processos ou através de suas influências nas variáveis selecionadas como indicativos da resposta da rede de drenagem (GREGORY & WALLING, 1973).

Este trabalho tem como objetivo principal demonstrar a utilização de um Sistema de Informações Geográficas na manipulação de variáveis que caracterizam uma bacia hidrográfica nos seus diversos aspectos.

A manipulação destas variáveis visa a determinação de áreas com diferentes graus de susceptibilidade à erosão.

Como objetivo secundário, está a análise do comportamento de cada variável relacionada, quanto à sua variabilidade ao longo da bacia.

Este trabalho tem sua importância na abertura cada vez maior de espaços e campos de utilização da tecnologia SIG, principalmente no Brasil, onde a utilização do SIG concentra-se em poucas universidades e grandes estatais e aos poucos é que vai encontrando espaço em instituições ambientais do governo e em empresas particulares ligadas às atividades ambientais.

A tecnologia SIG veio, no Brasil, acompanhada de uma fama de sistema caro e inacessível, e o que se pretende mostrar é que o seu uso pode ser mais amplo com equipamentos e programas de preços mais acessíveis.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1) Características dos dados espaciais

Um SIG não pode funcionar sem dados espaciais digitais. Dados espaciais consistem de vários fatores que são associados a um local geográfico. Estes fatores podem ser pontos, linhas ou características superficiais que podem ser visualmente discerníveis, tais como, estradas, lagos ou fronteiras invisíveis, como o limite de um município ou estado. Um SIG tem que ser capaz de armazenar e manipular estes tipos de dados. A associação de um determinado fator espacial com um tipo de dado depende da escala do mapa ou imagem.

A informação espacial pode ser encontrada já no formato digital ou estar contida em algum tipo de documento analógico (por exemplo, uma fotografia aérea ou um mapa impresso).

Os elementos temáticos também podem ser numéricos (altura, profundidade, intervalos), alfanuméricos (nome de rio ou cidade), ou simbólicos (símbolos gráficos). Eles são usados como atributos para elementos espaciais.

Elementos temporais são necessários somente quando certos elementos temáticos possuem diferentes valores em diferentes épocas (por exemplo, temperatura em diversas estações, dados de censos, etc.).

2) Componentes de um SIG

Um SIG possui três partes principais: um módulo de entrada de dados, um módulo de armazenamento e manipulação de dados e um módulo de recuperação, análise e

exibição.

2.1) Entrada de dados

A base para um moderno processamento computadorizado de dados espaciais consiste na criação de arquivos consistentes de dados.

Os dois principais métodos, ou estruturas de dados, que são utilizados para organizar dados espaciais dentro de um computador para serem utilizados por um SIG são: a estrutura “raster” ou matricial e a estrutura vetorial de dados. Cada uma destas estruturas possui vantagens e desvantagens distintas que afetam o custo e a eficiência do trabalho.

Uma estrutura “raster” é formada pela partição da área de estudo em u’a malha de células contíguas e mutuamente exclusivas, cujas bordas são normalmente independentes do fenômeno representado, e são geralmente quadradas (Figura 1). A cada célula são associados códigos descrevendo o fator contido no seu interior, como o tipo de uso do solo, altitude ou o nome do local. O tipo de célula é selecionado baseando-se na resolução necessária, ou disponível, e na capacidade do sistema.

As coordenadas explícitas (x,y) não são dadas para cada célula porque a sua localização está implícita na linha e coluna da malha, ou seja, existe uma natureza sequencial de pixels. Os dados temáticos que pertencem a uma mesma área, tais como uso do solo e área municipal, podem ser facilmente superpostos pela combinação dos códigos dos atributos, célula por célula, de cada arquivo. Porém, a natureza “célula por célula” da estrutura “raster” torna difícil a possibilidade de recuperação de informação sobre áreas específicas ou fatores lineares.

Em uma estrutura vetorial, tais dados são representados por um conjunto de linhas de fronteira representado por conjuntos de pares de coordenadas cartesianas (Figura 2). Os elementos lineares são fragmentados cada vez que se define um nó, que são aqueles pontos em que confluem três ou mais elementos lineares, mas também pode ocorrer que se defina um nó para delimitar topologicamente duas partes de um elemento linear com valores distintos relacionados a um mesmo atributo. Então, linhas e estruturas podem ser definidas e armazenadas como gráficos utilizando nós e extremidades, e áreas ou regiões são definidas assinalando os atributos à esquerda e à direita de cada extremidade visualizada na direção da digitalização.

Como métodos de entrada destes dados podemos citar a digitalização automática ou manual, a varredura (“scanner”) e a utilização de dados já na forma digital.

A digitalização consiste no posicionamento de u’a malha transparente sob cada mapa ou imagem e a conseqüente codificação do valor do atributo em cada célula, no caso dos dados estarem na forma “raster”. A digitalização pode ser automatizada utilizando-se uma mesa digitalizadora, que provoca uma economia de tempo deste processo.

O modo de digitalização vetorial leva em conta certas propriedades topológicas dos

Figura 1 - Esquema do processo de superposição de planos de informações pelo processo "raster". Fonte: BURROUGH, 1986.

gráficos bidimensionais. Pontos, linhas e superfícies são sempre as unidades elementares de qualquer representação bidimensional, registrando unicamente a configuração das cadeias e das relações topológicas de cada uma destas, com o par de nós que a limitam; com os dois polígonos de um lado e do outro, obtém-se uma descrição completa de todos os elementos de um mapa. A digitalização de um documento gráfico do tipo vetorial pode ser realizada utilizando-se diversos equipamentos, como a própria mesa digitalizadora ou um "scanner", mas o resultado é sempre um conjunto de cadeias, ou segmentos, descritos por uma lista de pares de coordenadas.

Após a entrada dos dados no sistema, deve-se proceder à correção dos erros de digitalização ou de classificação do atributo. Trata-se de comprovar se o identificador

Figura 2 - Representação esquemática do processo vetorial de armazenamento de dados espaciais, como da topologia. Fonte: BURROUGH, 1986.

numérico que foi associado durante a digitalização a cada entidade espacial no mapa é correto e único. A informação temática deve ter um conteúdo e uma organização análoga em toda a base de dados. É necessário assegurar a continuidade dos traços lineares e características através dos bordos dos documentos analógicos utilizados na digitalização.

2.2) Armazenamento e manipulação dos dados

Uma vez que os dados estejam dentro de um SIG, eles têm que ser armazenados em estruturas apropriadas, para proporcionar uma rápida e efetiva recuperação, processamentos e atualizações.

As técnicas de armazenamento para estruturas “raster” são simples matrizes até sofisticados “quadrtrees”. A árvore do quaternário (“quadtree”) é uma estrutura de dados que se baseia em uma decomposição regular de uma imagem em quadrantes e subquadrantes (CEBRIAN & MARK, 1987). Esta decomposição é adequadamente representada por uma árvore hierárquica e, em cada nó, tem zero ou quatro nós dependentes

diretamente, cuja profundidade é o parâmetro de resolução espacial dos dados. Cada nó da árvore corresponde a um quadrante ou subquadrante da região, o que permite representar aproximadamente, em função da resolução espacial da árvore, qualquer polígono, colorindo apropriadamente seus nós.

A estrutura de “quadtrees” é muito apropriada para as tarefas de busca, porque permite a utilização de algoritmos de busca binária. Assumindo que o sistema operativo permite o acesso aleatório aos registros, o registro em questão é submetido a busca binária; o valor associado a uma localização concreta é justamente o valor associado ao número menor do registro maior ou igual ao número da localização. O tempo empregado para realizar uma busca sequencial neste tipo de fichário é mínimo.

Através desta estrutura é possível fazer superposições de mapas ou imagens mais rapidamente, pois é um processo diretamente análogo à fusão de duas listas ordenadas, não se requerendo a decodificação dos registros.

A atualização e a edição são operações diretas, equivalentes a inserir registros em uma lista ordenada.

No caso de se desejar calcular a distância entre dois pontos, convertem-se previamente os números das células em seus respectivos pares de coordenadas x e y, aplicando em continuação as equações de distância correspondentes.

“Quadtrees” representa um método de ganho de memória em relação ao processo “raster” convencional, porque reduz a quantidade de espaço necessário para armazenar um conjunto de imagens, minimizando a quantidade de dados necessários para descrever áreas homogêneas, enquanto retém algumas das vantagens associadas com o processo “raster”, tais como fácil superposição e cálculo de estatísticas espaciais. Além disso, é de fácil manipulação e exibição e proporciona um meio simples de ajuste de escala.

Dados vetoriais são armazenados em estruturas vetoriais especiais (Figura 2). Pontos são armazenados pelas suas coordenadas (x,y); linhas são definidas por uma sequência de pares de coordenadas x,y; e áreas são formadas por seus limites. Para evitar redundância no armazenamento de coordenadas, cada limite é caracterizado pelo seu nó inicial e final. Estruturas lineares e superficiais podem ser definidas e armazenadas como gráficos, utilizando-se de limites e nós. Áreas ou regiões são definidas assinalando os atributos à direita e à esquerda de cada linha visualizada na direção de digitalização.

2.3) Recuperação dos dados

A partir dos dados armazenados na Base de Dados, o usuário, através da concepção lógica que possui, ou seja, do uso que quer dar para cada plano de informação armazenado, processa a recuperação destas informações com o objetivo de operar análises e juízos com finalidades previamente estabelecidas pelo próprio.

Podemos distinguir dois processos de recuperação: extração e filtragem.

Extração é o processo de seleção de um subconjunto da documentação contida na base de dados cujos elementos são capazes de satisfazer por si mesmos, ou em combinação entre si, uma demanda concreta de informação. Podemos ter extração mediante:

-> especificação geométrica: extrair todas as entidades espaciais contidas total ou parcialmente no domínio espacial comum aos planos de informação;

-> condição geométrica: extrair todas as entidades espaciais que satisfazem a condição definida pelo usuário;

-> especificação simbólica: extrair a entidade espacial assinalada, isto é, sua posição e todos os seus atributos temáticos;

-> condição simbólica ou lógica: extrair todas as entidades espaciais cujo nome próprio contém a cadeia alfanumérica assinalada ou cujos atributos satisfazem positivamente a condição lógica apontada.

Filtragem dos dados são todas as manipulações levadas a cabo sobre a informação extraída da base de dados antes de sua apresentação final. Podemos citar: reclassificação de atributos; transformação de coordenadas; generalização cartográfica; abstração cartográfica e análise espacial.

2.4) Análise dos dados

Estando os dados recuperados, o usuário é que, baseado no objetivo ou na necessidade da informação, vai analisar a forma de apresentação destes dados e o que eles representam, para depois obter o(s) produto(s) que deseja.

2.5) Exibição

A saída da informação pode ser textual ou gráfica. A informação textual analógica é normalmente um conjunto de tabelas que apresentam documentação proveniente da base de dados ou resultados de análises realizadas sobre ela. A informação gráfica de caráter analógico pode consistir em mapas, gráficos ou diagramas.

A informação espacial contida em um SIG, antes de sua apresentação em forma de mapas, tem que experimentar um processo de simbolização. Este tratamento realiza-se normalmente recorrendo-se a uma coleção de símbolos convencionais definidos digitalmente.

2.6) Implementação

A escolha de um "software" de SIG depende basicamente dos objetivos pretendidos pelo usuário. Esses objetivos são os que vão nortear as características que o "software" deve possuir para se adequar às necessidades.

Dentre as principais características pode-se citar: formato de dados suportados; diversidade de entradas e saídas (filtros); portabilidade; plataforma requerida; facilidade de acesso a Banco de Dados auxiliares; diversidade de operações (algébricas, relacionais de cruzamento, consultas); quantidade e qualidade de algoritmos especiais, ou seja, específicos; facilidade de uso por usuário não-especializado; integração e apresentação de vários formatos de dados.

Deve sempre ser lembrado que o SIG é um instrumento de associação de idéias de diferentes níveis de particularidade e não a própria idéia, que é inerente ao usuário.

Baseando-se nas características supra-citadas pode-se classificar os "softwares" em 4 classes:

1ª) "Didáticos" baseados em IBM-PC:

São "softwares" educativos, normalmente desenvolvidos por universidades, que tem por objetivo demonstrar as funções de um SIG.

Rodam, às vezes, até em um PC-XT, tal como o OSUMAP, IDRISI e o brasileiro SAGA (UFRJ).

Mas são limitados em termos de entrada de dados, normalmente em um só formato, e em termos de saída gráfica ou em arquivo, como também necessitam de outros "softwares" que tratem informações e as coloquem disponíveis e no formato do SIG.

2ª) Comerciais baseados em IBM-PC:

A partir dos "softwares" universitários, foram desenvolvidos sistemas comerciais, com tratamento visual melhor e mais interativos com o usuário, apesar da base teórica não ter modificado tanto.

Alguns "softwares" ainda necessitam do auxílio de outros para compatibilizar informações para o próprio formato, como também para uma saída de qualidade.

Como exemplos podem ser citados o ILWIS, Atlas-GIS e o SGI (INPE).

3ª) Baseados em estações de trabalho ou "workstations":

São programas que trabalham com grande base de dados, de múltiplos formatos, em ambiente UNIX. Por isso necessitam de equipamentos e memória RAM adequados, ou seja, estações de trabalho com pelo menos 1Gb de espaço em disco, vídeo de alta resolução, 64 Mb de RAM para uma boa performance, e periféricos proporcionais à

quantidade, tipo e qualidade de informações que entram e saem do sistema, tais como: "plotter", "scanner" e mesa digitalizadora de no mínimo 300 dpi.

São utilizados por empresas de grande porte, responsáveis por uma grande gama de produtos e de informações, tanto públicas como privadas.

São SIG's que incorporam apresentações e cruzamento de inúmeros níveis de informação, modelagem digital, CAD, processamento de imagens "raster", fotogrametria e restituição fotogramétrica.

Por isso são produtos caros, tanto em termos de "software" quanto de equipamento.

Exemplos encontrados são o ARC/INFO, o MGE, o SPANS e o SPRING (INPE).

4ª) Adaptações de UNIX para DOS:

Diversos "softwares" para "workstations" foram transportados para o IBM-PC, talvez por motivos comerciais.

Mantiveram certa qualidade gráfica e algumas funções essenciais de SIG, do original em UNIX, mas outras funções que requerem, em UNIX, complexos algoritmos e grande velocidade, ainda não estão adaptados para DOS.

Apesar dos problemas ainda existentes, são "softwares" que prometem avanços devido, não ao avanço do "software" em si, mas ao avanço dos sistemas operacionais, dos gerenciadores de arquivos e de memória, como o DOS e o Windows, como também do equipamento em termos de velocidade de operação.

Como exemplos podem ser citados o próprio ARC/INFO e o MGE.

3) Base de Dados

Bases de dados são modelos isolados de uma aplicação e, desta maneira, são freqüentemente descrições tipicamente estáticas de entidades e relações.

Não se deve confundir com um simples banco de dados. A Base de dados é formada por diferentes níveis de informação que possuem uma ligação entre si, que no caso de um SIG, são características de georeferência e de resolução que possibilitarão a montagem de novos modelos.

A informação básica usada em todos os tipos dos atuais sistemas de informações geográficas provém das tradicionais fontes brutas: mapas, figuras e desenhos de engenharia em escala. Esta informação entra em uma base de dados por um processo que começa pela digitalização do material citado (SPRINSKY, 1987).

A formação de uma base de dados tem por objetivo armazenar uma série de planos ou níveis de informação ("layers"), tendo como finalidade a obtenção de um ou mais produtos finais, que serão outros planos de informação obtidos com o cruzamento daqueles.

Para se chegar a uma base confiável devemos levar em consideração a fonte dos dados, o controle de erros e a forma de armazenamento destes planos.

Fontes de dados

Como fontes de dados podemos citar os mapas topográficos, os mapas temáticos, levantamentos pontuais numéricos ou alfanuméricos, dados de fotointerpretação, etc. Tudo depende da maneira como foram obtidos, ou seja, sua veracidade ou confiabilidade, a tecnologia empregada para a obtenção, o seu intervalo de confiança, a amostragem e distribuição, e a representatividade destes dados.

Aqui serão detalhados, devido à metodologia empregada no presente trabalho, três tipos de fonte de dados: obtidos via sensoriamento remoto, dados topográficos e dados de qualidade d'água.

3.1) Dados de Sensoriamento Remoto

Com o avanço tecnológico ocorrido principalmente nas últimas décadas, foram desenvolvidos alguns sistemas de observação da Terra que permitem um melhor conhecimento dos recursos naturais, através do Sensoriamento Remoto (CARVALHO et alii, 1987). Este pode ser conceituado como a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados, aeronaves ou espaçonaves, etc, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta em suas diversas manifestações (NOVO, 1989).

A efetiva utilização de grande quantidade de dados de sensores remotos depende da existência de uma eficiente manipulação geográfica e de um sistema de processamento que vai transformar os dados em informação útil para uma atividade de tomada de decisão. Tal sistema deve ter as seguintes capacidades, segundo ZHOU (1989):

- > reduzir a redundância e a inconsistência do armazenamento de dados;
- > proporcionar a integração de vários dados para propósitos específicos;
- > promover facilidade e eficiência na atualização dos dados armazenados;
- > ser capaz de consultar bases de dados para apresentar informações geográficas às quais não estão diretamente disponíveis no arquivo original de dados.

Um meio alternativo é utilizar uma estrutura "raster" a qual é diretamente compatível com os dados digitais do sensor remoto.

Os dados de sensoriamento remoto devem ser processados primeiramente, antes de entrar em um SIG. Os dados processados devem estar em um formato digital, tal como um mapa temático criado por uma classificação automática, ou no formato de um mapa, criado a partir de uma interpretação visual de uma imagem. Porém, os valores digitais dos "pixels" devem também ser introduzidos no SIG, ou diretamente de uma fita compatível com o computador ou indiretamente através da digitalização de uma imagem (DeVRIES, 1985).

A resolução e a escala dos dados, o sistema de coordenadas de referência a ser usado e os limites da área precisam ser definidos. Mapas ou imagens em escalas grandes (ou com maior detalhamento) custam mais a entrar e a serem processados e requerem maior espaço de memória que em escalas pequenas (menor detalhamento). Porém, se desejam-se analisar dados mais detalhados em uma escala menor, é possível agregar dados de escalas maiores para simular os de escalas menores (DeVRIES, 1985).

A adição de dados de sensoriamento remoto em uma base de dados de um SIG introduz a possibilidade de análise temporal para o monitoramento de recursos naturais, devido à repetitividade de cobertura de alguns tipos de sensores remotos. De outro lado, a combinação de dados espaciais de um SIG, tais como dados topográficos, com os dados de sensoriamento remoto deve servir para melhorar os resultados de uma classificação (DeVRIES, 1985).

3.2) Dados topográficos

A informação topográfica está disponível em mapas plani-altimétricos, na forma de curvas de nível, ou ainda em dados brutos de levantamento topográfico. Baseando-se na suposição de que as curvas de nível representam uma superfície suavizada, contínua e em três dimensões, os pontos de uma amostra de uma elevação podem ser digitalizados e convertidos em um Modelo Digital de Terreno (DEM - "Digital Elevation Model").

Da mesma maneira, esses mesmos dados de contorno (altitude ou cota) podem ser convertidos em dados de declividade, aspecto ou de concavidade e cruzados com outros temas, dentro do próprio SIG.

3.3) Dados de qualidade da água

A água é um recurso peculiar, não somente pela sua amplitude de utilização, mas também pela sua vantagem como indicadora da manipulação do solo pelo Homem. Os rios que drenam uma região apresentam suas águas com características físico-químicas próprias, as quais refletem as atividades de uso do solo nas áreas a montante (CASTRO, 1980).

Para se fazer um estudo do efeito desta utilização nas características físico-químicas da água que é drenada de certa região deve-se levar em consideração as características pedológicas, climáticas, geológicas e geomorfológicas desta região. Por isso as bacias ou microbacias hidrográficas constituem unidades naturais para a análise dos ecossistemas, pois apresentam características próprias, as quais são utilizadas para testar os efeitos do uso do solo nos ecossistemas.

4) Atributos

4.1) Atributos Topográficos:

Em muitos países em desenvolvimento normalmente existe uma escassez de dados ambientais para projetos, mas uma das primeiras informações obtidas é normalmente uma carta topográfica, ou plani-altimétrica. A partir destes dados, os atributos topográficos podem ser calculados e usados no planejamento de uso e manejo de bacias hidrográficas.

Os atributos topográficos podem ser divididos em primários e secundários. Os primários são diretamente calculados da matriz de elevação. Os secundários são derivados da combinação dos primários e são índices que descrevem ou caracterizam a variabilidade espacial de processos específicos que ocorrem na paisagem (MOORE et alii, 1991). Um exemplo destes índices são os morfométricos, que veremos mais adiante.

Existem dois modelos de superfícies geográficas utilizados em aplicações computacionais: contínuo e discreto. Os modelos contínuos têm sido largamente utilizados na forma de redes triangulares (TIN's - "Triangulated Irregular Network") derivadas de pontos discretos, e os tradicionais mapas de isolinhas. Nos modelos discretos a superfície é representada por pontos em uma malha retangular. A densidade desta malha diz o quanto detalhado é a sua imagem ou área. Como o modelo é armazenado em uma matriz, os valores são mais facilmente acessados (FREEMAN, 1991).

As fontes mais utilizadas de dados topográficos são o Modelo Digital de Terreno (DTM - "Digital Terrain Model") e o Modelo Digital de Elevação (DEM). O termo DTM é usado para descrever um conjunto de pontos regularmente (DEM) ou irregularmente espaçados. Estes pontos contêm informação explícita relacionada à posição geográfica ou espacial dos dados de elevação ou altitude. A partir do DEM, uma grande quantidade de produtos pode ser derivada, que caracterizam as propriedades geométricas da paisagem, em um ponto ou em toda uma área (NIEMANN, 1991).

4.1.1) Atributos Primários

Como atributos primários podemos citar: Declividade ou Inclinação; Aspecto ou Orientação; Curvatura; e Gradiente de Elevação.

Para a descrição quantitativa destes atributos tem-se normalmente empregado procedimentos matemáticos e estatísticos.

Pontos pouco espaçados são similares em altitude, apesar de sua irregularidade, pois a superfície do solo não é uma variável puramente randômica. A autocorrelação diminui rapidamente com o aumento da distância, mas pode aumentar se houver oscilações regulares ou periodicidade (EVANS, 1971). A autocorrelação espacial mede o grau no qual um fenômeno espacial é correlacionado consigo mesmo no espaço (CHOU, 1991).

Estes atributos podem ser provenientes tanto de uma base de dados na forma “raster” (ZEVENBERG & THORNE, 1987; FRANKLIN, 1987; entre outros) como vetorial (CHOU, 1992).

A inclinação é, talvez, o mais importante atributo da forma da superfície, já que as superfícies são compostas por declives e os seus ângulos controlam a força gravitacional disponível para o trabalho geomórfico (STRAHLER, 1956). É a primeira derivada da elevação e pode ser estimada de diversas maneiras (FRANKLIN, 1987). A inclinação em um ponto é definida em termos de um plano tangente à superfície naquele ponto, e este plano é caracterizado pelo seu gradiente (máxima inclinação na horizontal, em graus ou percentagem) ou declividade, e o seu aspecto (orientação de uma linha perpendicular ao contorno, medida em termos de pontos cardinais ou graus) (EVANS, 1971).

A declividade influencia a razão de escoamento entre a água e o sedimento, controlando a energia desprendida para a geração do fluxo (ZEVENBERG & THORNE, 1987). Devido a tal, ela se torna uma importante variável na avaliação de áreas submetidas a processos de erosão.

Como exemplos de utilização da declividade podemos citar trabalhos na delimitação de regiões de saturação hídrica (O’LOUGHLIN, 1981 e 1986; MOORE et alii, 1988), onde este atributo é tratado conjuntamente com a condutividade do solo e a profundidade do perfil do solo. Da mesma forma, é um dos fatores que possivelmente causam a iniciação de um canal de drenagem (MONTGOMERY & DIETRICH, 1989).

A declividade é parte integrante da Equação Universal de Perda de Solo (“USLE”) (FOSTER & WISCHMEIER, 1974; FLACKE et alii, 1990) através do fator S (“slope”), largamente utilizado para prever a perda de solo devido a fatores controladores da erosão do solo em bacias.

Trabalhos envolvendo classificação de bacias para o estudo de frequência de cheias (ACREMAN & SINCLAIR, 1986; WILTSHIRE, 1986) também utilizam a declividade como parâmetro discriminante.

Baseando-se em O’LOUGHLIN (1981), WOLOCK et alii (1990) utilizaram-se da

relação $\ln(a/tgB)$, onde $tg(B)$ é a declividade e B é o gradiente, para estudar o efeito da topografia na qualidade, em termos químicos, da água em uma bacia. QUINN et alii (1991) também utilizaram esta relação, mas para determinar, através do programa TOPMODEL, o fluxo de escoamento e as áreas, na bacia, de maior acúmulo hídrico, tanto superficial quanto sub-superficialmente.

Aspecto e Gradiente são dois componentes da direção tri-dimensional da Declividade. O Aspecto define a direção da inclinação e portanto a direção do fluxo. O conhecimento de como ele varia através da bacia proporciona a informação necessária à determinação da área responsável pelo fluxo em um determinado ponto da bacia (ZEVENBERG & THORNE, 1987).

O Aspecto de um terreno tem também relação com a produtividade de um sítio, tanto agrícola quanto florestal, devido à posição em relação à insolação. TAJCHMAN & LACEY (1986), obtiveram resultados que sugeriram que o crescimento da produtividade em duas as bacias estudadas teve relação com o aspecto, e encontraram a maior produtividade nas inclinações com aspecto equatorial-oeste, utilizando o “índice de seca” (“dryness index”).

A Concavidade (ou Convexidade) é a taxa de mudança em inclinação, sendo a primeira derivada desta e a segunda da altitude (EVANS, 1971). Pela Figura 3 podemos

Figura 3 - Diagrama que demonstra as diferentes combinações entre concavidades, onde, (r) é retilíneo ou horizontal, (cc) é côncavo e (cx) é convexo. Fonte: OLIVEIRA, 1990.

ter uma idéia de como se comporta a Concavidade.

Em um trabalho realizado nas regiões de Bananal e Barra Mansa, entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, OLIVEIRA (1990) chegou à conclusão que 71% das voçorocas estavam localizadas em inclinações côncavas (cc/cc) e só 10.5% estavam localizadas em inclinações convexas (cx/cx) (Figura 3).

Vários outros trabalhos relacionando propriedades físicas e químicas do solo concluem que estas propriedades estão relacionadas com a posição na paisagem (MALO et alii, 1974; OVALLES & COLLINS, 1986). NIZEYIMANA & BICKI (1992), trabalhando em Rwanda, centro-leste africano, concluíram que a falta de tendência e, às vezes, pouca variação na maioria das propriedades do solo em inclinações convexas é uma indicação que estas propriedades mudam de acordo com as condições de drenagem existentes nas diferentes posições no relevo. Portanto, a forma do plano de inclinação é um importante fator na determinação da distribuição das propriedades do solo no relevo. Eles também concluíram que os solos nas inclinações côncavas eram menos ácidos e apresentavam alta densidade volumétrica (DV) e conteúdo de areia (areia%), mas baixo carbono orgânico, CTC no horizonte A, baixa diferença em retenção de água (DRA) e percentagem de argila (argila%), que em inclinações convexas (TABELA 1).

Tabela 1: Relação entre diferentes propriedades do solo e a sua posição na declividade.

Propriedade do solo														
	DV		DR A		Argila %		Areia %		pH		Mat. Org.		CTC	
Horiz.	A*	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Concav.														
Côncavo	0.1 b	1.2 a	0.1 b	0.1 b	38. b	43. b	34. a	31. a	5.3 a	5.2 a	3.2 b	2.6 a	20. b	21.. a
Convexo	0.8 a	1.0 b	0.1 a	0.1 a	47. a	48. a	22. b	21. b	4.4 b	4.4 a	4.6 a	2.7 a	28. a	22. a
DMS	0.2	0.0	0.0	0.0	1.5	2.3	0.8	1.4	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1	1

* - diferentes letras significam diferença estatística com $\alpha = 0.05$

Fonte: NIZEYIMANA, E. & BICKI, I.J. (1992)

A importância de se determinar o Gradiente de elevação ocorre quando a área estudada possui grandes diferenças em altitude, ocorrendo sensível gradiente de temperatura, pluviosidade, tipo de solo e rocha, influenciando na composição da vegetação e dos sedimentos carregados pela rede de drenagem, como também na energia produzida pelo fluxo d'água.

Os atributos provenientes dos dados topográficos, já vistos, exercem um efeito

pronunciado nos dados provenientes de sensores remotos. A variação espectral induzida pela topografia é maior que a variabilidade espectral induzida pelo tipo, forma e densidade da vegetação (WALSH, 1987).

A temperatura de um certo local depende em parte do Aspecto, ou da sua orientação em relação ao sol. Simulações indicaram que variações locais no Aspecto do terreno levaram a variações de até 30°C em condições de outono em uma região montanhosa da América do Norte, e estas variações podem ocasionar tendências no recebimento, pelo sensor do satélite, de temperaturas superficiais de cerca de 3°C, devido à correlação existente entre a temperatura dos declives e a sua orientação com respeito ao satélite. O efeito destas tendências podem ser tão grande quanto o efeito de emitâncias da superfície (LIPTON, 1992).

JUSTICE et alii (1981) já notavam que, mesmo com um grande ângulo de inclinação, os dados do sensor MSS do Landsat incorporavam um aparente efeito topográfico que confundia a classificação do uso do solo, principalmente nas bandas do infra-vermelho (6 e 7). Em terrenos rugosos e acidentados, a geometria entre o sol, a orientação da superfície e o sensor do satélite, que pode variar de um "píxel" para o outro, é um fator adicional que faz com que a estimativa da reflectância da superfície através de dados de sensoriamento remoto seja difícil (PROY et alii, 1989). A hora da passagem do satélite afeta muito o gradiente das variáveis que dependem da orientação do terreno (WALSH, 1987). LEPRIEUR et alii (1988) encontraram correlação significativa entre o Aspecto do terreno e a reflectância de talhões florestais.

A partir daí surgiram vários trabalhos com o objetivo de utilizar os atributos topográficos na correção e classificação de imagens satelitárias. A correção é feita, principalmente, para o efeito de sombra devido ao grau de anisotropia da superfície e da inclinação solar (DUGUAY et alii, 1989; DUGUAY & LEDREW, 1992). Focalizou-se então a utilização destes atributos como sendo auxiliares na classificação do uso do solo por imagens de satélite.

SENOO et alii (1990) utilizaram-se de classificação supervisionada pelo método de Máxima Verossimilhança em áreas florestais e alcançaram 85% de precisão de classificação. O uso de análise multivariada, através de análise de Componentes Principais (WALSH, 1990), Correlação Canônica (FRANKLIN, 1987) e Análise Discriminante (FRANKLIN, 1990 e 1991), fez com que ocorresse um aumento sensível de 10 a 20% na precisão da classificação. TRIVERDI et alii (1990), utilizando uma análise passo-a-passo, levando em consideração o conhecimento prévio dos objetos da cena e sua posição topográfica, obtiveram sucesso na detecção de diferentes tipos de alvos na cena satelitária em várias datas, com alta precisão.

FRANKLIN & WILSON (1991 e 1992) desenvolveram uma técnica (e "software") com a finalidade de classificar uma imagem de sensoriamento remoto em três estágios: no primeiro, promovendo uma segmentação pela técnica das árvores do quaternário

(“quadtrees”), testando constantemente a homogeneidade dos grupos através dos testes F de Fisher e t de Student, da imagem satelitária; no segundo, utilizando a Distância Mínima das Médias como critério de aceitação dos grupos; e no terceiro, utilizando os dados auxiliares e as curvas espectrais.

A hipótese inicial é, sempre, que a resposta espectral seja uma função da composição das condições do solo, somadas ao conhecimento detalhado da superfície topográfica.

Em geral, atenção deve ser dada: a relações entre o comportamento espectral, variáveis ambientais e dados auxiliares; à seleção de variáveis; aos métodos de integração destas variáveis; formato de saída; e no uso destes dados integrados no monitoramento destes processos (FRANKLIN, 1990).

McDERMID & FRANKLIN (1994) combinaram variáveis espectrais, espaciais e geomorfométricas com a finalidade de separar superfícies geomórficas em um ambiente montanhoso conseguindo um nível de precisão de 95%.

Quando os efeitos não relacionados diretamente com a cobertura do solo forem removidos, deverá existir forte correlação desta com Índices Vegetativos, que são relacionados às condições físicas como o Índice de Área Foliar e a biomassa foliar (FRANKLIN, 1991).

4.1.2) Atributos Secundários:

Viu-se a importância dos atributos topográficos primários para uma grande gama de aplicações. Os atributos secundários, provenientes dos dados de Declividade, Gradiente, Aspecto e Concavidade, são igualmente importantes.

Segundo STRAHLER (1957), podemos dividi-los em duas classes gerais: medidas em escala linear e propriedades adimensionais.

Medidas em escala linear são unidades geometricamente análogas de topografia que podem ser comparadas, e incluem Comprimento de canais de uma certa ordem, Densidade de drenagem, Perímetro e Área da bacia. Se duas bacias são geometricamente similares, todas as dimensões lineares possuirão uma razão fixa.

Propriedades adimensionais normalmente são ângulos ou razões de medidas de comprimento, de modo que as formas de unidades análogas podem ser comparadas sem levar em consideração a escala. Nesta classe incluem-se Ordem de canais, Razão de bifurcação, Declividade média da bacia, Gradiente de canais e Razão de relevo. Se houver semelhança geométrica entre duas bacias, todos os valores adimensionais serão idênticos, mesmo que uma grande diferença de forma exista.

Para se chegar a estes atributos tem-se que calcular a área da bacia e traçar a rede de drenagem, compatível com a escala de trabalho.

Canais de drenagem são linhas pelas quais os processos fluviais agem transportando água e material sólido (mineral e orgânico) para fora de um certo local, permitindo que

o processo gravitacional rebaixe a paisagem. A rede de drenagem é a base para a definição de uma bacia hidrográfica, um componente essencial nos modelos hidrológicos e planos de manejo dos recursos naturais (O'CALLAGHAN & MARK, 1984).

Com a crescente disponibilidade de dados altimétricos na forma digital ou digitalizável, como acontece com os atributos topográficos primários, o processo de obtenção do traçado da rede de drenagem e da área da bacia torna-se facilitado a partir dos Modelos Digitais de Terreno (DEM).

Podemos citar o trabalho de MARKS et alii (1983), que desenvolveram um "software" para a delimitação de bacias hidrográficas com dados na forma "raster". Em O'CALLAGHAN & MARK (1984), utilizando um DEM, a direção do fluxo é assinalada de um píxel a um dos 8 píxels vizinhos, baseando-se na declividade maior entre cada par; assim cada píxel recebe um valor acumulado do número de píxels que "drenam" para ele. A rede de drenagem então é definida pelos píxels cujos números acumulados estejam acima de um certo limite, o que é definido pela escala de trabalho. A diminuição da área suporte (aumento de escala) resulta em um refinamento da rede de drenagem. A área da bacia a partir de qualquer ponto no canal é então calculada como o número de píxels que "drenam" para este ponto multiplicada pela área que cada píxel representa.

Este é o mesmo esquema básico encontrado nos demais trabalhos que se seguiram, diferenciando na aplicação ou refinamento matemático (p. ex. McCORMACK et alii, 1993). A partir daí, pode-se codificar topologicamente os canais de drenagem, para melhor organizar a inclusão destas informações com outras (BAND, 1986). A partir deste traçado, também pode se ter uma idéia de como se comporta morfologicamente a rede de drenagem e procura-se encontrar uma natureza ideal para tal, como por exemplo, uma natureza fractal de dimensão 2 (TARBOTON et alii, 1988).

Tentativas de associar o DEM com a Rede Irregular de Triangulação (TIN) obtiveram sucesso no traçado da rede de drenagem (PALACIOS-VÉLEZ & CUEVAS-RENAUD, 1986).

A definição de vales e cumes a partir do traçado da rede de drenagem pode ser utilizado para a definição da posição na paisagem de um outro atributo ambiental, como o tipo de solo (SKIDMORE, 1990).

Um dos problemas no traçado é a definição do limite, apropriado a cada escala, do número de canais traçados, ou seja, qual a máxima resolução de drenagem significativa suportada pela escala (TARBOTON et alii, 1991; JENSON, 1991).

O segundo e mais sério problema, é o que diz respeito à interpolação de um DEM a partir de pontos irregularmente espaçados ou de curvas de nível. Dependendo do tipo do terreno, se é montanhoso ou plano, da densidade de pontos ou curvas, o melhor método de interpolação (mínimos quadrados, polinomial, inverso da distância, "krigagem", etc) mais adequado a estas condições, deve ser estabelecido (BURROUGH, 1986). A inadequação do método pode levar à ocorrência de falhas, como pequenos "buracos" no

DEM, que podem gerar concentrações de fluxo no terreno, ou à uma indefinição do fluxo em regiões planas (FAIRFIELD & LEYMARIE, 1991).

JENSON & DOMINGUE (1988), desenvolveram um “software” que promove um pré-processamento no DEM original com a finalidade de corrigir estas falhas, para posteriormente traçar a drenagem, calcular e marcar a área de contribuição que “drena” ao ponto de saída estipulado da bacia (“outlet”). Este “software” foi utilizado com modelos hidrológicos de parâmetros distribuídos (“distributed parameter hydrologic models”), com a finalidade de estimar o escoamento (“runoff”) em uma bacia (SMITH & BRILLY, 1992)

Estes modelos tentam quantificar a variabilidade espacial de características da bacia, através da malha, para investigação de efeitos de mudanças no uso do solo na hidrógrafa e na modelagem de transporte de sedimentos (GUPTA & SOLOMON, 1971).

O traçado da rede de drenagem também pode ser feito tendo por base dados vetoriais provenientes de um DEM, mas não é tão usual e simples quanto através de dados no formato “raster” (SEEMULLER, 1989).

Tendo traçado a rede de drenagem e calculado a área de contribuição para um certo ponto na drenagem, podem ser calculados os índices morfométricos (atributos secundários), como a Densidade de drenagem, Densidade hidrográfica, Razão de textura, Textura geológica, Relação de forma, etc, que têm relação com a forma da bacia.

O tipo de uma bacia de drenagem influencia a quantidade de água produzida; o comprimento, forma e relevo afetam a taxa de produção entre a água e o sedimento; a característica e a extensão dos canais afetam a disponibilidade de sedimentos e a taxa de produção de água em uma bacia (GREGORY & WALLING, 1973).

Aqui não se tratará da descrição de cada índice em particular, o que já foi bem explorado por STRAHLER (1957) e seus sucessores, mas sim tratar de sua importância dentro do contexto da caracterização de bacias hidrográficas.

ARGIALAS et alii (1988), procuraram estruturar os padrões morfológicos das redes de drenagem com a finalidade de descrevê-los e aplicá-los a qualquer bacia.

BATISTA (1987) e ANANABA (1989), aplicaram a teoria da probabilidade de Buffon para calcular a densidade de drenagem a partir de cartas topográficas.

Muitos pesquisadores utilizaram os índices morfométricos para a classificação e identificação de tipos de solo. KOFFLER (1976), utilizou amostras circulares para caracterizar o tipo de solo e comparar imagens de sensores remotos no que diz respeito ao levantamento dos padrões fisiográficos, concluindo que a Densidade de drenagem foi o melhor índice discriminante; o mesmo foi encontrando por VETTORAZZI (1985, 1988), juntamente com a Frequência de rios (ou Densidade hidrográfica), utilizando fotografias aéreas no primeiro trabalho e imagens orbitais do Landsat-TM e análise de agrupamentos, no segundo.

Também com finalidade de classificação de redes de drenagens, ENGSTROM

(1989) utilizou-se dos índices Área da bacia, Gradiente altitudinal, Razão de relevo, Alongamento e Compactação da bacia, através de uma análise de Agrupamento Hierárquico, pelo método da média, para duas bacias no Deserto de Sonora. Ele conclui que, enquanto a erosão se processa, a rede de drenagem se expande e as diferenças entre as bacias diminuem, e o tipo, a continuidade e as bacias de terceira ordem sobreviventes são bem restritas a um grupo homogêneo de bacias que são, conseqüentemente, pequenas em área, baixas em altitude, bem declivosas e altamente dissecadas.

GARDINER (1978), estudando 2013 bacias na Grã-Bretanha, concluiu que existe um alto grau de intercorrelação entre os índices e utilizou uma análise por Componentes Principais para reduzir a redundância, ficando só com a Declividade média, Densidade de drenagem, Forma da bacia (Relação de forma), Tipo de rede (se é dendrítica, circular, etc.) e Geometria da drenagem, em um total de 5 componentes.

4.2) Atributos de Uso do Solo

O conhecimento da natureza da cobertura do solo é um item essencial no estudo e monitoramento de bacias hidrográficas (HAERTEL & CENTENO, 1991). A produção de sedimentos pela erosão dependerá necessariamente da cobertura vegetal como determinante da exposição da superfície do solo, da extensão na qual os horizontes superficiais do solo são limitados pelas raízes, e da magnitude de modificação das características da precipitação recebida pela superfície (GREGORY & WALLING, 1973).

Então, o significado da vegetação na bacia pode ser visualizado pela sua influência na modificação da entrada real de água, através da interceptação e evapotranspiração; afetando o armazenamento de água; influenciando a razão pela qual a água e o sedimento são produzidos e transportados através da rede de drenagem.

Em princípio, qualquer tipo de vegetação pode servir para estes fins, desde que a cobertura seja suficientemente espessa para abrigar o solo da ação das chuvas, permitindo a infiltração da água, mas evitando o escoamento superficial (MOLCHANOV, 1963).

Estimativas precisas da classificação do uso e cobertura do solo servem a dois grupos de pessoas, os usuários e os analistas. Para os usuários, a precisão indica uma confiabilidade dos resultados da classificação, e para os analistas, indica uma eficácia dos procedimentos de classificação utilizados nos estudos. Os procedimentos de classificação devem envolver diferentes combinações de fatores, estratégias de treinamento ou classificadores. O papel do analista é identificar o melhor procedimento que gere a maior precisão de classificação (GONG & HOWARTH, 1990).

Já tratou-se de sua utilização em morfometria no item anterior. Aqui se deterá na sua utilização na classificação do uso do solo.

A tecnologia do Sensoriamento Remoto orbital tem se mostrado eficaz no levantamento do uso do solo, tanto rural quanto urbano. Com o passar dos anos, a

resolução, tanto geométrica, espectral, quanto temporal, dos sensores em órbita tem sido melhorada, tornando mais fácil a diagnose do uso do solo.

SATTERWHITE et alii (1984), compararam dados de verdade terrestre da cobertura e morfologia do terreno com dados satelitários, explorando um pré-conhecimento: das relações entre as diferentes comunidades vegetais e a morfologia do terreno; das características fenológicas e fisiográficas da vegetação; e da relação reflectância-cobertura, com a finalidade de uma melhor classificação do uso do solo.

Uma forma de classificação automática, muito utilizada no monitoramento da vegetação, é a por Índices Vegetativos.

Os Índices Vegetativos (IV's) são modelos numéricos que visam indicar a densidade de vegetação através de razões e combinações, lineares ou não, das respostas espectrais do alvo nas regiões do visível e do infra-vermelho (FORESTI & PEREIRA, 1987).

Como exemplos de trabalhos utilizando índice vegetativo, podemos citar CHOUDHURY & TUCKER (1987), LLOYD (1989), KENNEDY (1989) e MALINGREAU et alii (1989), que utilizaram o Índice Vegetativo de Diferença Normalizada ("NDVI") para dados espectrais do AVHRR do NOAA (canais 1 e 2), com a finalidade de comparação sazonal e multitemporal da cobertura em uma floresta natural, descrição fenológica, e monitoramento do processo de desmatamento, respectivamente.

STONE & WOODWELL (1988) compararam o "NDVI" de dados do Landsat-MSS com dados de radar (SIR-A), banda L polarização HH, em relação a áreas desmatadas na Bacia Amazônica. SADER (1987) utilizou dados de 4x Landsat-TM para o "NDVI" e um classificador por paralelepípedo modificado para monitorar mudanças na cobertura vegetal na Costa Rica quanto à sucessão vegetal comparando-as com a interpretação de fotografias aéreas. PECH et alii (1986) detalharam matematicamente e espectralmente, bem como a sua utilização prática, os índices vegetativos e sua relação com os elementos da paisagem.

Outro índice utilizado é a razão de bandas (infravermelho e visível), como por exemplo nos trabalhos de VOLGEMAN & ROCK (1989) e FORAN (1987). O primeiro utilizou-se de dados do Landsat-TM para a detecção de áreas florestais atacadas pelo "Pear Thrips", e o segundo utilizou-se de dados do Landsat-MSS para o monitoramento da cobertura da vegetação em áreas de pastagens na Austrália.

A utilização de bandas simples, sem a construção de nenhum índice ou tratamento mais complexo, é também muito difundida. Pode-se citar a sua utilização na detecção de desmatamentos com o sensor AVHRR do NOAA (PIRES et alii, 1990), MSS do Landsat com o infravermelho-próximo (banda 6) (RINGROSE & MATHESON, 1987); detecção de doenças e pragas florestais utilizando classificação multitemporal e multiespectral com o sensor MSS do Landsat (MUKAI et alii, 1987) e dados do sensor TM do Landsat comparados com interpretação de fotografias aéreas (KADRO, 1988); detecção de áreas submetidas a incêndios florestais utilizando o sensor AVHRR do NOAA e TM do

Landsat, em Brasília (PEREIRA et alii, 1990).

Uma técnica cada vez mais utilizada é a classificação de uso do solo através de Análise de Componentes Principais, como pode-se ver em LEE et alii (1990), que se utilizaram desta técnica para o levantamento e classificação de áreas reflorestadas no que diz respeito à espécie e idade utilizando dados do sensor TM do Landsat; em FUNG & LEDREW (1987), que se utilizaram de dados do sensor MSS do Landsat para determinação de tipos de cobertura do solo; e em GONG & HOWARTH (1990), que através de dados do sensor HRV do satélite SPOT e de duas áreas de treinamento objetivaram tentar encontrar um conjunto ótimo de píxels de treinamento ou combinações de fatores para a classificação da imagem.

Outra técnica estatística muito utilizada é a classificação por máxima verossimilhança. MEDEIROS & AMARO (1990) utilizaram esta técnica para mapear e quantificar, através de um SIG, alterações na cobertura vegetal no Estado do Pará. VENTURIERI et alii (1990) detectaram padrões de uso do solo ao redor da represa de Tucuruí (PA) através do SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens, do INPE) e os quantificaram através do SGI (SIG, do INPE).

Com a finalidade de remoção do efeito topográfico quando em contacto com uma imagem de alta resolução, CONESE et alii (1993) se utilizou da Análise por Componentes Principais para aumentar a performance da classificação por Máxima Verossimilhança, encontrando resultados significantes.

VALÉRIO FILHO E PINTO (1987) utilizaram a técnica de realce de contraste (“contrast stretch”) em imagem do Landsat-TM, com a finalidade de identificar áreas submetidas ao processo de erosão, concluindo que ela pode servir especialmente para detectar variações de densidade de cobertura vegetal e possíveis manchas de solo exposto.

4.3) Atributos de Qualidade de Água

A bacia, ou microbacia, hidrográfica constitui uma unidade natural para a análise dos ecossistemas (LOTSPEICH, 1980) devido à sua sensibilidade às transformações que nela ocorrem, oriundas de manipulação ou conservação.

A produção de sedimentos em bacias depende de três conjuntos de variáveis: características inerentes da bacia, como geologia e topografia; uso do solo, condição da cobertura vegetal e medidas de manejo e proteção; e a natureza da chuva e do fluxo, que produzem o transporte de sedimentos (ANDERSON, 1957).

A resposta hidrológica das bacias à uma precipitação intensa tem sido tradicionalmente vista como predominantemente controlada na superfície do solo. Onde a capacidade de infiltração é excedida, o excesso de chuva irá gerar o escoamento superficial que se assume como sendo responsável pela maior parte da hidrógrafa

ocorrida, enquanto que o movimento da água infiltrada até o canal de drenagem é altamente retardado, sendo responsável pela manutenção da descarga base da bacia (BEVEN & WOOD, 1983).

O movimento de sedimentos nos canais é influenciado por uma ampla gama de fatores incluindo : área variável de fonte de sedimentos; fluxos transitórios; tipo variável de partículas; não uniformidade do fluxo; e geometria do canal (BESCHTA, 1987).

O transporte seletivo de partículas finas é extremamente importante, pois esta fração de partículas é que forma a maior parte do transporte dos constituintes da fertilidade do solo, tais como o nitrogênio, fósforo, potássio e matéria orgânica (SHARPLEY 1980, 1985).

SUTHERLAND (1991) concluiu que , durante pancadas de chuvas isoladas de grande intensidade, em uma bacia no Kenya, silte e argila eram enriquecidos quando os sedimentos eram transportados para os canais, e que a rápida translação de sedimentos dos declives até os canais durante um evento era responsável pelos altos coeficientes de escoamento que resultaram da formação de uma superfície de abrasão.

CASTRO (1980), trabalhando com duas microbacias em Viçosa, uma com e outra sem cobertura vegetal densa, concluiu que a última apresentou maior escoamento superficial, com maior pH e maior turbidez, quando num evento de precipitação, demonstrando uma resposta maior desta bacia a tais eventos quanto à erosão.

Como exemplo de detecção da resposta da bacia, neste caso uma grande bacia, utilizando a tecnologia do Sensoriamento Remoto, temos o trabalho de MENDES et alii (1990) na Lagoa dos Patos (RS), na qual fizeram uso de técnicas de regressão linear simples para correlacionar alguns parâmetros de qualidade d'água com dados obtidos do sensor TM do Landsat, conseguindo um R^2 de 87%.

Com os atributos citados, pode-se integrá-los de maneira que seja possível caracterizar uma determinada bacia e estudar os processos que nela se desenvolvem.

Um sistema de classificação do uso do solo deve ser construído através de classificação taxonômica do sítio ou de regionalização. A taxonomia procura delinear zonas, através do agrupamento de sítios com propriedades similares, enquanto que a regionalização subdivide o espaço hierarquicamente em unidades espaciais baseando-se em regras pré-estabelecidas. A diferença inerente entre as duas pode ser reduzida se um processo indutivo ou dedutivo for aplicado. Na taxonomia, a teoria tem freqüentemente seguido a metodologia e tem tentado formalizar e justificar a atividade classificatória. Na regionalização, os sistemas de classificação do espaço têm sido feitos baseados em regras lógicas e a metodologia subsequente direcionada ao ajuste dos princípios. A regionalização é basicamente um procedimento de mapeamento e freqüentemente implica o conhecimento da causa das similaridades e diferenças entre os objetos estudados (MATHER & DOORNKAMP, 1970).

O uso de estatística multivariada fez com que aumentassem as tentativas de

promover uma regionalização e classificação (MATHER & DOORNKAMP, 1970).

HUANG & FERNG (1990a) desenvolveram um esquema de classificação taxonômica do espaço com a finalidade do manejo da qualidade hídrica, utilizando a bacia como unidade para a classificação, através de análise multivariada (Agrupamento, “Factor Analysis” e Análise Discriminante) de atributos topográficos, uso do solo e qualidade d’água.

Posteriormente, HUANG & FERNG (1990b) utilizaram os mesmos atributos com o objetivo principal de classificação levando em consideração a heterogeneidade dentro da bacia, ainda utilizando as mesmas técnicas estatísticas, mas tratando a regionalização em um SIG (MAP Analysis Package).

5) SIG e Bacias Hidrográficas

Com a maior disseminação da tecnologia SIG entre os meios acadêmicos e científicos, surgiu a necessidade de adaptação desta tecnologia a áreas mais específicas, como a Arquitetura, Agricultura, Ciências Florestais, Hidrologia, etc..

Como exemplos destes SIG’s específicos temos, na Hidrologia, o “Simulation of Production and Utilization of Rangelands - SPUR” (SASOUSKY & GARDNER, 1991) e o “Digital Sediment and Soil Model” (BORK & ROHDENBURG, 1986), que têm por objetivo a parametrização de modelos de escoamento através de dados topográficos e pedológicos; o “SIMPLE” (WALKER & MOORE, 1988), que utiliza o “MAP” (TOMLIM, 1986) para interagir planos de informação (“layers”) no formato “raster”; e o “ANSWERS” (ROO et alii, 1989), para previsão de escoamento superficial (“runoff”) e erosão.

Estes sistemas têm em comum o fato de trabalharem com diversos planos de informação relacionados com “runoff”, utilizando, principalmente, dados topográficos e de uso do solo.

A quantidade e qualidade d’água afetada por fontes de contaminantes não-pontuais são dependentes de atributos espacialmente distribuídos em uma bacia ou microbacia hidrográfica. A capacidade de manipulação de dados espaciais em um SIG oferece a vantagem da utilização de todo o conteúdo de informação dos dados espacialmente distribuídos, para a análise dos processos hidrológicos (VIEUX, 1991).

Podemos citar o trabalho de OSBORNE & WILEY (1988), no qual utilizaram como fonte de dados de uso do solo fotografias aéreas que, após interpretadas, foram digitalizadas usando-se o SIG Arc/Info. Posteriormente, esses dados foram relacionados, através de regressão múltipla, com dados de campo de qualidade de água.

SMITH & BLACKWELL (1980) utilizaram o SIG IBIS com a finalidade de efetuar uma correlação cruzada entre dados do sensor MSS do Landsat e dados topográficos,

oriundos de um DEM, com uma variedade de dados ambientais relacionados com parâmetros de escoamento superficial.

SIVERTUN et alii (1988), através de vários "softwares" de tratamento de imagens satelitárias e de outros dados, utilizaram, de acordo com a Equação Universal de Perda de Solo ("USLE"), quatro planos de informação com o objetivo de determinar áreas críticas de poluição não-pontual.

BOCCO et alii (1990) interpretaram manualmente um par estereoscópico de imagens do satélite SPOT para mapear o uso do solo, as voçorocas e as unidades geomorfológicas, com a finalidade de integrar estes dados em um SIG com atributos topográficos, no sentido de prever áreas susceptíveis à erosão.

A integração de dados topográficos e de sensores remotos em um SIG ("ILWIS"), também foi utilizada por SHARMA & ANJANEYULU (1993) para produzir mapas temáticos da qualidade das fontes hídricas em algumas regiões da Índia.

EIDENSHINK & WEHDE (1982) utilizaram dados, sempre atualizados, durante três anos, através de um SIG ("AREAS"), com a finalidade de monitorar a qualidade d'água através da "USLE", em um lago nos EUA.

Com a finalidade de simular várias alternativas de proteção do solo contra a erosão, JÜRGENS & FANDER (1993) se utilizaram de um SIG para cruzar e relacionar os fatores que participam da "USLE". MERCHANT (1994) também se utilizou de um SIG para melhorar a performance de um modelo de proteção de grandes reservatórios (o "DRASTIC").

O manejo de recursos naturais requer uma informação espacialmente orientada, precisa e sempre atualizada, em uma escala compatível com o tipo de unidade manejada e um desejado nível de detalhe. O Sensoriamento Remoto já provou ser um instrumento efetivo de aquisição deste tipo de informação (BROONER, 1982; MYERS, 1982; CISSE et alii, 1984 e DEVRIES, 1985).

Pelo exposto, verifica-se que os SIG's vieram preencher uma necessidade tecnológica no armazenamento e análise de dados espaciais.

É importante lembrar que, para que se faça efetivo uso deste sistema, deve-se possuir uma adequada metodologia de coleta de dados, que depende do tipo e origem do dado a ser coletado, pois é com base nesses dados que serão feitas as análises no SIG.

Temos que nos conscientizar que o SIG não é um fim, mas sim um meio de melhor armazenamento e análise de dados.

Como meio, ele depende dos dados que lhe são fornecidos, do objetivo do trabalho, como também da maneira com que vão ser analisados os dados.

Deve-se ter em mente que estes dados são regionalizados, então, além do mínimo

de erro na mensuração do objeto ou fenômeno visado, deve se ter um mínimo de erro quanto à localização do objeto ou fenômeno no espaço e na escala do trabalho. Ou seja, tudo depende da lógica com que os dados serão utilizados dentro de um SIG, a forma com que vão ser utilizados, combinados e cruzados. Isto não é inerente ao sistema e sim ao sujeito que o manipula, sujeito este que deve ter em mente os processos que estão ocorrendo na natureza, ou na realidade, para ter subsídios teóricos para a manipulação dos dados espaciais, como também conhecer as particularidades destas informações, para um correto encaminhamento ao fim, ou seja, à realização ou não da hipótese formulada.

METODOLOGIA

1) Área de Estudo

A área de estudo faz parte da Reserva Biológica do Tinguá, que se localiza nos municípios de Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Petrópolis, Miguel Pereira e Vassouras, no Estado do Rio de Janeiro, com uma área de aproximadamente 26000 ha e um perímetro de 150 km (Figura 4).

A bacia estudada é a do rio Boa Esperança, que se localiza entre as latitudes 22° 31' S e 22° 34' S e as longitudes 43° 23' W Gr. e 43° 26' W Gr..

Conforme RADAMBRASIL (1983), a área está posicionada entre as unidades geomorfológicas Colinas, Maciços Costeiros e Alinhamento de Cristas do Paraíba do Sul, na unidade Serra dos Órgãos. A drenagem da área obedece o controle estrutural com a escarpa principal voltada para o Atlântico, orientação geral SO-NE, geologicamente alicerçada em gnaisses granitóides e migmatitos de caráter álico, sulcadas por numerosas ravinas e rios torrenciais, que vão se projetar até a Baixada Fluminense.

A bacia possui duas áreas geomorfológicamente bem delimitadas, a de baixada e a de escarpa. Esta possui gradiente de altitude de cerca de 1250 metros (10 m a 1260 m) (Figura 6) onde ocorre o Cambissolo álico com horizonte A proeminente de textura média, produto de meteorização dos migmatitos. Na área de baixada ocorre o tipo de solo Glei pouco húmico distrófico, onde se localizam pequenas propriedades de pecuária extensiva, olericultura e um núcleo urbano pouco denso (Distrito de Tinguá - Nova Iguaçu), direcionado principalmente à prática do turismo, devido às quedas d'água dos

Figura 4- Mapa de localização da Bacia do rio Boa Esperança na reserva Biológica de Tinguá - RJ. Fonte: IBAMA, 1989.

Figura 5 - Representação da Bacia do Rio Boa Esperança 3-D (ordenadas: altitude em metros).

rios Tinguá e Boa Esperança. Nas encostas, a vegetação é secundária densa com palmeiras bem desenvolvidas.

O clima da região é quente úmido (Awb) com 1 a 2 meses secos, com temperatura média de 21°C, máxima de 40°C na baixada e mínima de 0°C no alto da serra, pluviosidade entre 2000 e 2500 mm anuais (Figura 6).

O local foi escolhido devido às características topográficas bem distintas, ou seja, grande amplitude altimétrica (Figura 5), por possuir uma cobertura vegetal variada e por ser área de grande importância em termos de captação hídrica para consumo industrial e doméstico da Baixada Fluminense e do município do Rio de Janeiro.

Figura 6 - Climograma da estação pluviométrica em Xerém, próximo à Reserva.

2) Bases Cartográficas e Dados orbitais

Como base cartográfica foi utilizada a carta planialtimétrica do DSG SF 23-Z-B-IV-1 (CAVA), na escala 1:50000 com equidistância vertical de 20m.

Como fonte de dados orbitais foi empregada uma cena do satélite Landsat, sensor TM, coordenadas 217/76 quadrante Norte, de agosto de 1988, no formato digital (fita CCT), nas bandas 2, 4 e 5, respectivamente nas faixas do visível (verde), infra-vermelho próximo e médio, sem cobertura de nuvens na área de estudo. Devido à região estar localizada em uma área de grande ocorrência de nuvens, esta passagem foi a única, até o começo do trabalho, que apresentou boa qualidade visual, porém não possuía a banda 3 em condições, devido a problemas magnéticos na fita CCT, o que não possibilitou o seu uso, sendo substituída pela banda 2, também do visível, sem problemas.

3) O Sistema de Informação Geográfica

O SIG utilizado é o MAP - Map Analysis Package (TOMLIM, 1986), uma pacote de análise de matrizes de dados no formato "raster", disponível para PC e de fácil manipulação. A sequência lógica de processamento de dados envolve, de acordo com BERRY (1987):

- manipulação de um ou mais planos de informação de uma base de dados;
- processamento destes dados conforme a necessidade do usuário;

- criação de um novo plano de informação com o resultado do processamento;
- armazenamento do novo plano na base de dados para processamento posterior.

O MAP v. 3.0 é um SIG "universitário", ou seja, sem maior preocupação com o tratamento gráfico e com pouca universalidade, como o pequeno recurso de interação com outros "softwares" de tratamento de dados e imagens, ausência de arquivos de entrada e saída de dados, só permitindo interface com o ArcInfo (.NAS).

Sua estrutura foi concebida para conter, em formato "raster", a maioria, ou os mais utilizados algoritmos de manipulação de células:

- "display": "Color", "Contour", "Drape", "Dump", "Respace", "Shade" e "Surface"; apresentação em tela (cor, padrões, isolinhas, 3D, zoom) e gravação em arquivos.
- operações locais: "Add", "Cover", "Cross", "Divide", "Exponentiate", "Multiply" e "Subtract"; operação entre planos de informação célula por célula.
- reclassificação (operações lógicas): "Average", "Filter", "Maximize", "Minimize", "Renumber", "Slice" e "Sort".
- análises de distância: "Drain", "Radiate" e "Spread"; análises de distância intra-matriz.
- análises de forma: "Clump", "Euler", "Size" e "Survey".
- estatísticas descritivas: "Describe", "Scan" e "Score".
- análises topográficas: "Differentiate" (declividade), "Orient" (aspecto) e "Profile" (perfil).

O pacote trabalha com uma base de dados de acesso direto binário, para economizar memória, sustentando 99 planos de informação, ocupando cerca de 500 Kb de memória RAM, mas a entrada e a saída de dados pode ser no formato texto (ASCII).

Devido a pouca interação com outros "softwares" de tratamento de dados espaciais, foi necessário utilizar programas intermediários que pudessem transformar formatos de arquivos, em termos de binários para "texto" e em termos de sintaxe dentro de um mesmo arquivo "texto".

Por exemplo: os arquivos "texto" gerados pelo "Surfer" possuem um cabeçalho diferente dos arquivos do MAP, como também a forma de apresentação da matriz de dados, onde o MAP exige uma indexação linha por linha da matriz; os arquivos fornecidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / MCT) além de virem em formato binário, possuem um cabeçalho que só pode ser lido por programa desenvolvido no próprio INPE, ou transformando-se o arquivo em formato ASCII para adequação do arquivo para o MAP; o mesmo acontece com os arquivos de delimitação das sub-bacias gerados pelo "software" de JENSON & DOMINGUE (1988), já exposto anteriormente, em formato binário.

Como "softwares" intermediários foram utilizados editores de texto, o SAS (Statistical Analysis System) por ser programável, e o "Tranfor", "software" desenvolvido pelo CEAPLA/UNESP para transformar arquivos numéricos em formato binário para formato ASCII.

4) Atributos Topográficos

Através da digitalização de todas as curvas de nível da carta planialtimétrica e a geocodificação, ou seja, a codificação de cada atributo altimétrico com respeito a sua localização em uma estrutura (GOODCHILD, 1984) de cada ponto referenciado no sistema de coordenadas UTM da carta, obtiveram-se cerca de 13000 pontos que serviram para interpolar um DEM de 50m x 50 m (1mm x 1mm na carta), quadriculado este recomendado por VALENZUELA E BAUMGARDNER (1990) como sendo adequado para a escala 1:50000, para uma área de 40 km² (8km x 5km) , resultando em 16000 quadriculas (160 x 100) com a bacia inclusa. Devido a grande quantidade de pontos amostrais de altitude e a não disponibilidade de um sistema computacional com maior velocidade de processamento, a interpolação através do método do inverso do quadrado da distância foi utilizada, usando-se o "software" SURFER de modelagem digital de terrenos. A digitalização foi efetuada em uma mesa digitalizadora Digicom tamanho A3 no Centro de Estudos e Pesquisas Ambientais (CEPAM) das Faculdades Integradas Simonsen (RJ).

4.1) Atributos Primários:

Foram utilizados para a análise quatro atributos primários de grande uso no manejo de bacias hidrográficas: declividade, aspecto, concavidade e gradiente. Foram calculados utilizando-se o MAP, entrando-se com a matriz de elevações ou de gradiente de altitude, o DEM.

Para o cálculo da declividade utilizou-se o algoritmo "DIFFERENTIATE", que atribui a uma célula a máxima declividade (angular) entre ela e suas oito vizinhas.

Para o aspecto foi utilizado o algoritmo "ORIENT", que calcula o ângulo azimutal (medido no sentido horário, a partir do norte), sendo que cada faixa angular se refere a um dos oito sentidos cardinais mais o aspecto horizontal (convencionado com o valor de 361°).

A concavidade foi calculada utilizando-se o algoritmo "SURVEY", que gera um plano de informação indicando a convexidade geral das categorias (altitudes) do plano original, assinalando valores de 0 a 100, de superfícies mais côncavas até mais convexas respectivamente.

Assim temos quatro planos de informações, matrizes regulares de dados de caráter circulares (aspecto, concavidade e declividade) e contínuos (gradiente). Na Tabela 2 pode-se observar as classes para cada variável.

Tabela 2: Classes dos atributos primários da bacia do rio Boa Esperança - RJ.

Classes	Atributo			
	Gradiente (m)	Declividade (graus)	Aspecto	Concavidade
1	0 a 50	0 a 15	S	1 a 30
2	51 a 250	16 a 30	SE	31 a 60
3	251 a 500	31 a 45	E	61 a 87
4	501 a 750	46 a 55	NE	
5	751 a 1000	> 55	N	
6	> 1000		NO	
7			O	
8			SO	
9			Horizontal	

4.2) Atributos Secundários

Para o cálculo da área da bacia e o traçado da drenagem foi utilizado o software desenvolvido por JENSON & DOMINGUE (1988), já mencionado, a partir do DEM (Mapa 3 - Anexo I). E as matrizes resultantes, a da delimitação da área da bacia a partir da saída da bacia e a do acúmulo de fluxo, foram integradas no MAP, conforme SMITH & BRILLY (1992), para o cálculo dos atributos.

Para o traçado da drenagem considerou-se o limite mínimo de 10 píxels na matriz de acúmulo de fluxo, devido à escala do trabalho.

Baseando-se em STRAHLER (1957), calculou-se a Densidade hidrográfica (Dh), Razão de textura (Tx), Textura geológica (Tg), Razão de forma (Rf) e Densidade de drenagem (Dd), da seguinte maneira:

- > $Dh = N / A$, canais/km²;
- > $Tx = N / P$, canais/km;
- > $Tg = (Lt - Lcp) / Lcp$, km/km;
- > $Rf = A / Lcp^2$, km² / km²;
- > $Dd = Lt / A$, km / km²;

onde:

- N é o número de canais, contados visualmente;
- A é a área da bacia, ou o número de píxels que compõem a bacia multiplicado por 0.0025 (fator de escala);
- P é o perímetro da bacia, ou seja, o número de píxels que compõem a bordadura da bacia multiplicado por 0.05 (fator de escala);
- Lt é o comprimento total dos canais, ou seja, o nº de píxels com acúmulo maior que 10 píxels da matriz de acúmulos multiplicado por 0.05 (fator de escala);
- Lcp é o comprimento do rio principal, ou o número de píxels referente ao rio

principal multiplicado por 0.05 (fator de escala).

Estes atributos são calculados para a bacia como um todo e não para cada píxel da bacia.

A Densidade de drenagem (Dd) pode também ser caracterizada através da distância de cada píxel da bacia até a drenagem a que contribui, ou vice-versa, pois esses valores refletem a quantidade e velocidade de sedimentos que chegam aos cursos d'água (SIVERTUM et alii, 1988). Para tal utilizou-se o algoritmo "SPREAD" do MAP, que atribui a cada píxel o número de píxels contados a partir de uma linha, neste caso, a drenagem. Chegou-se, então, a 7 classes de Distância da Drenagem, de 0m a 300m, de 50m em 50 metros.

5) Atributo de Uso e Cobertura do Solo

A partir da imagem Landsat adquirida, registrada com a carta topográfica, fez-se uma classificação não-supervisionada utilizando-se da análise dos Componentes Principais (FUNG & LEDREW, 1987) com as bandas 2, 4 e 5 através do pacote estatístico SAS. Foram escolhidos os dois primeiros componentes que responderam por 96 % da variação. A partir daí, foi feita uma Análise de Agrupamento com os Primeiro e Segundo Componentes Principais, através do mesmo pacote estatístico, para a determinação do número mínimo de grupos que poderia ser formado. Chegou-se a conclusão de que somente 5 grupos seriam necessários, com um R^2 de 76 %. Obtendo-se o número mínimo de grupos efetuou-se novamente uma análise de agrupamentos, mas desta vez com as próprias bandas originais, fixando o número máximo de grupos em 5.

Devido ao pequeno número de píxels associados aos grupos 2 (4 píxels) e 5 (110 píxels), estes foram incluídos nos grupos 4 e 3, respectivamente mais próximos em termos do valor médio de reflectância.

A cada grupo, do total de 3, foi assinalado uma categoria de reflectância, como poderá ser visto na Tabela 6, conforme a média de reflectância que apresentaram.

6) Atributos de Qualidade D'Água

Foram amostrados 13 pontos ao longo da Bacia do Rio Boa Esperança a partir de sua confluência com o rio Tinguá, 9 pontos no próprio canal principal e 4 no rio Piabas, afluente principal do Boa Esperança (Figura 7). Cada ponto foi associado a uma altitude, para melhor reconhecimento no campo, o último aos 200 metros. A não-acessibilidade não permitiu que fossem coletadas amostras nas classes de maior altitude.

Foram coletadas amostras de água em garrafas de 1 litro para a determinação do pH, condutividade (μ S) e sólidos totais (ppm). A época escolhida foi a de meados de janeiro

de 1992, época chuvosa, no final de uma semana de contínua precipitação na bacia. Escolheu-se a época chuvosa para que houvesse uma resposta mais significativa da bacia aos processos que foram estudados, que nela devem estar ocorrendo.

O pH resulta do equilíbrio químico dos elementos presentes na água, resultantes da lixiviação de nutrientes das árvores e do solo. Este parâmetro foi medido através de phmetro de bancada Micronal modelo B 378, no laboratório de Oceanografia Química do Departamento de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

A condutividade elétrica reflete o poder de intemperização das rochas, expostas ou não a este poder, ou seja, a quantidade de compostos solúveis provindos da decomposição química das rochas, e é considerada baixa quando abaixo de $0.005 \mu\text{S}$. Ela foi medida em um condutivímetro de bancada Analion modelo C-702 na UERJ.

Uma análise de sólidos totais reflete a quantidade de sedimentos carregados para a rede de drenagem. Foram medidos através de filtragem a vácuo em malha de $0.45 \mu\text{m}$ no Laboratório de Hidrologia e Ecologia do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, em Piracicaba.

Figura 7 - Localização dos pontos amostrais, dos rios principais e das curvas de nível.

Todos os procedimentos de análise podem ser encontrados em A.P.H.A. (1976).

Cada píxel pertencente à cada área de contribuição de cada ponto amostral, ou seja, pertencente à sub-bacia, recebeu o valor correspondente de pH e condutividade referente a aquele ponto, e ao valor da contribuição em sólidos (ppm) dividido pelo número de píxels da sub-bacia. A delimitação das sub-bacias foi feita através do "software" desenvolvido por JENSON & DOMINGUE (1988) (Mapa 2 - Anexo I).

Na Tabela 3 podemos visualizar as classes de cada atributo de qualidade d'água.

Tabela 3: Classes dos atributos de qualidade d'água de amostras coletadas na Bacia do Rio Boa Esperança - RJ

<i>Classe</i>	Atributos de Qualidade D'água		
	<i>Sedimentos</i> *	<i>pH</i>	<i>Condutividade</i> (micro siemens)
1	sem contribuição	5.9	0.001
2	pouca contribuição	6	0.002
3	alta contribuição	6.2	0.003
4		6.3	0.004
5		6.4	

(a) - Classes relativas à contribuição de cada píxel em sólidos totais (ppm).

7) Análise do Comportamento das Variáveis

A análise foi levada à cabo utilizando-se a Teoria das Variáveis Regionalizadas, também conhecida como Geoestatística. Uma variável regionalizada é uma função numérica espacial que varia de um lugar para o outro, mas aparente continuidade, mas variando de uma forma que não pode ser geralmente representada por uma função ordinária (VIEIRA et alii, 1983).

As peculiaridades destas variáveis ferem a suposição básica da estatística clássica, ou seja, a independência entre as observações, pois uma medida tomada em um ponto

guarda relações de dependência com variáveis em pontos vizinhos, sugerindo uma autocorrelação. Esta dependência implica que os dados de unidades geográficas se interagem, não podendo, então, se pensar que sejam gerados aleatoriamente (ARBIA & COLI, 1991).

Se um ponto geograficamente definido não é correlacionado com o seu vizinho, então a imagem consistirá de erros aleatórios, mas se o é, a observação exibirá uma estrutura espacial (WOODCOCK et alii, 1988a).

Esta correlação dependerá da resolução, ou seja, da diferença, em termos de distância, entre uma amostra e outra, do adensamento amostral. Se a distância entre os pontos amostrais estiverem acima de um valor mínimo, a observação poderá perder a estrutura espacial, ou seja, as amostras são independentes, podendo os dados serem tratados pela estatística clássica.

O meio hoje mais utilizado para analisar o comportamento deste tipo de variável é o variograma ou semivariograma.

O variograma descreve a magnitude, escala espacial e a forma geral da variação. Indica se é estacionária de segunda ordem ou somente intrínseca (OLIVER et alii, 1989a).

O variograma, $Y(h)$, é calculado como:

$$Y(h) = 1/2(n-h) \sum [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2,$$

onde h é a distância ou alcance (em número de pixels) entre as amostras, n é o número de observações utilizadas para estimar $Y(h)$ e Z é o valor da variável na posição x do pixel i .

Na Figura 8 pode-se ter uma idéia de um variograma de modelo esférico (o modelo mais utilizado), onde se nota o valor de Y , no eixo das ordenadas, também conhecido como patamar, ou seja, quando Y chega a um máximo, e o valor de h , o intervalo de Y máximo. Este intervalo pode ser usado como uma medida de dependência espacial ou homogeneidade, enquanto o patamar reflete a quantidade de variabilidade (COHEN et alii, 1990).

Variogramas de diferentes formas em diferentes direções na matriz refletem a anisotropia da região (CLARK, 1979). Normalmente a anisotropia, detectada através de diferentes variogramas de uma variável em uma mesma região, é causada por outras variáveis a que a variável estudada está relacionada ou dependente. Isto ocorre muito quando estuda-se dados relacionados a fenômenos naturais.

Figura 8 - Representação de um variograma esférico, sendo, (a) o alcance, (h) o patamar. Fonte: CLARK, 1979.

Para mais detalhes sobre Geostatística e suas aplicações, o leitor interessado deve recorrer aos trabalhos de: BURGESS & WEBSTER (1980 a e b, 1981), MCBRATNEY et alii (1981a e b), VIEIRA et alii (1983), CRESSIE (1989), JOURNAL (1986), OLIVER et alii (1989), e principalmente o de CLARK (1979) em termos de embasamento teórico; WEBSTER (1985), OLIVER & WEBSTER (1986) e ENTZ & CHANG (1991), em pedologia; WOODCOCK et alii (1988 a e b), CURRAN (1988) e COHEN et alii (1990), com dados satelitários; PHILLIPS et alii (1992) e HAVESI et alii (1992 a e b), com dados de precipitação; e SAMRA et alii (1989), com dados de inventário florestal.

Pode-se citar a importância do semivariograma na determinação da isotropia das variáveis da bacia como também na determinação da melhor resolução espacial para a escala de trabalho, no sentido de procurar manter a autocorrelação entre os píxels ou, no caso de coleta de campo, entre os pontos amostrais, como feito por BROWN et alii (1993).

Neste trabalho foram traçados, para cada variável, incluindo-se aí os três canais Landsat-TM, o variograma em duas direções ou trajetos: o primeiro ao longo do canal principal, sentido montante, num total de 166 píxels ou 8.3 km, e o segundo transversal ao primeiro em uma posição central da bacia, sentido O - E, em um total de 77 píxels ou 3,85 km (Mapa 1 - Anexo I).

Para o traçado do variograma foi utilizado o software GEO-EAS ("Geostatistical Environment Assessment Software" - Computer Sciences Corporation), de Geostatística, através dos algoritmos PREVAR e VARIO.

A partir dos variogramas procurou-se analisar o comportamento de cada variável, quanto a sua variabilidade espacial e à isotropia na bacia, e relacioná-los com as variáveis mapeadas, ou posicionadas geograficamente, e com o mapa final de susceptibilidade à erosão.

Através do MAP, delimitou-se áreas de diferentes graus de susceptibilidade erosiva, combinando-se as diferentes classes de cada variável tomadas por meio cartográfico, com as variáveis de qualidade d'água, chegando-se portanto à um mapa cloroplético de classes de susceptibilidade à erosão.

O mapeamento de cada variável segue padrões já conhecidos nos SIG's, de padronização por cores ou padrões existentes no "software" de cada classe da variável mapeada.

Da mesma forma, o cruzamento dos planos de informação se faz utilizando-se algoritmos de soma, subtração, recobrimento, cruzamento e outros, exemplificando pelo MAP: ADD, SUBTRACT, COVER, CROSS e etc.

A ordem de utilização dos algoritmos ou comandos do MAP vai depender da lógica empregada pelo usuário. Para este trabalho os comandos mais importantes foram o COVER e o CROSS, que evidenciam manchas de coincidência (ou intersecção) entre itens de legenda de dois ou mais planos de informação.

A lógica (sintaxe) do COVER é a seguinte:

COVER "layer 1" com "layer 2" com "layer x" para "layer final"

e a do CROSS é:

CROSS "layer 1" com "layer 2" para "layer final" , assinalando o valor x para o par (a1, a2), valor y para o par (a4, a3-7)

onde a1 é o valor (ou classe) do 1º plano e a2 do 2º plano, ou seja, assinala-se o valor x onde exista coincidência de localização entre uma classe de um plano com a classe ou grupo de classes de outro plano (a4, a3-7).

Maiores detalhes a respeito dos outros comandos do MAP podem ser encontrados em BERRY (1987).

Na Tabela 4 pode-se visualizar as classes de cada atributo topográfico: gradiente (Grad.), declividade (Decliv.), aspecto (Aspect), concavidade (Concav) e distância da drenagem (Dist. Dren.); e de reflectância (Reflect.) que cruzadas geram cada classe de Susceptibilidade (Classes de suscept.).

Tabela 4: Classes de cada parâmetro utilizado para a obtenção, através de cruzamento, de cada classe de Susceptibilidade à Erosão.

	Parâmetros Utilizados					
Classes de suscept.	<i>Grad.</i>	<i>Decliv.</i>	<i>Aspect</i>	<i>Concav</i>	<i>Dist. Dren.</i>	<i>Reflect.</i>
<i>Baixa</i>	1 e 2	1	4 e 5 e 6	3	250 e 300m	baixa
<i>Média</i>	6	2 e 3	3 e 7	2	150 e 200m	média
<i>Alta</i>	3 e 4 e 5	4 e 5	1 e 2 e 8 e 9	1	0 e 50 e 100m	alta

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 14 mapas produzidos, bem como os 6 variogramas, são apresentados na forma de anexos (ANEXO 1 e ANEXO 2, respectivamente).

Dos Mapas 4 até o 13, encontram-se, representados de forma cloroplética, os planos de informação utilizados para a determinação do mapa final de susceptibilidade à erosão (Mapa 14) .

O que vem em seguida são os conjuntos de variogramas (Variogramas) relativos aos tipos de dados (Atributos Topográficos, de Qualidade d'água e de Uso e Cobertura do solo) e nas duas direções de amostragem ou trajetos (ANEXO II).

1) Atributos topográficos

1.1) Atributos Primários

Em relação aos atributos topográficos primários, observando-se o Mapa 4 , pode-se ver que o Gradiente de altitude cresce na direção N-NO, da drenagem, ocasionando aspectos predominantemente S-SE-SO (Mapa 7). Este comportamento pode também ser verificado no Variograma 1, onde se constata um crescimento gradual, quase exponencial, do gradiente e da inclinação da curva, que nos mostra um aumento da declividade no sentido da nascente, e também pequena variação no variograma do aspecto, já que a drenagem principal está quase toda voltada para o sul.

Já no segundo trajeto (Variograma 2) vê-se o comportamento do relevo das duas grandes redes da bacia, a do rio Boa Esperança e do rio Piabas (Figura 7), onde repara-se que no primeiro a área inundável é maior do que no segundo. Também nota-se a grande

variação de altitude entre a drenagem (os topos das curvas) e o divisor de águas (os vales das curvas) refletindo a grande declividade; o mesmo acontecendo em relação ao aspecto, onde ocorre uma mudança entre o aspecto da drenagem e das áreas adjacentes.

Observando os variogramas nas duas direções para o gradiente e o aspecto (Variogrupos 1 e 2) chega-se à conclusão da anisotropia destas variáveis na bacia.

O resíduo, entre os pontos amostrados em carta plani-altimétrica e os pontos da malha interpolados pelo método utilizado (inverso do quadrado da distância), pode ser visualizado no Mapa 5. Devido ao grande número de pontos amostrados (13000) em relação ao interpolado (16000) obtiveram-se pouquíssimas áreas onde o resíduo ultrapassasse a metade do intervalo entre as curvas de nível (10 metros). Por isso podemos concluir que o método de interpolação foi válido para o conjunto de dados de altitude.

A partir do Mapa 4 chegou-se aos 6, 7 e 8.

Pelo Mapa 6, podemos observar que as maiores declividades situam-se nas altitudes médias, de 500 metros a 1000 metros, onde a bacia possui pouca largura, concentrando e aumentando a velocidade do deflúvio.

Segundo o Variogruppo 1, a variação da declividade é pequena na direção da drenagem principal, aumentando paulatinamente à montante. No Variogruppo 2 nota-se um “efeito pepita” devido à grande variância inicial da declividade do divisor de águas para a vertente. A variância é alta e constante devido também à alta concavidade (ou baixa convexidade) do terreno, que ocasiona altas declividades.

Através do Mapa 8 observa-se que a concavidade (ou convexidade) é predominantemente côncava possuindo poucas áreas convexas (61 a 87). Isto significa estar mais propensa ao processo de erosão, como já tinha sido levantado por OLIVEIRA (1990).

Os Variogruppos 1 e 2 mostram uma certa isotropia desta variável, notando que a maior variação da curva, nas duas direções, ocorre na mudança da área côncava, de maior declividade, para o divisor de águas.

1.2) Atributos Secundários

Na Tabela 5 vêem-se os resultados referentes aos Índices Morfométricos da bacia em estudo.

Observando o valor da Densidade de Drenagem chega-se a conclusão que a bacia é levemente drenada, como já tinha sido estabelecido por STRAHLER (1957), onde o valor encontrado se situa na classe “baixa drenagem” de $Dd < 5.00 \text{ Km/Km}^2$.

Isso pode ser observado no Mapa 13, onde as classes de distância 50 e 100 metros ocorrem sem as demais, na porção superior da bacia, de densidade de drenagem maior. O variograma da Distância da drenagem tem comportamento semelhante ao variograma do Gradiente para o trajeto 2 (Variogruppo 2), onde os picos coincidem com a rede de drenagem, sendo o primeiro relativo ao rio Piabas

e o segundo ao rio Boa Esperança, que possui sub-bacia de maior área, ou seja, uma maior distância do talvegue até o divisor de águas.

Tabela 5: Índices Morfométricos e outras constantes da Bacia do rio Boa Esperança - RJ

Parâmetro	
Área - A (Km ²)	16.295
Perímetro - P (Km)	25.3
Número de canais - N	85
Comprimento dos canais - Lt (Km)	63.45
Comprimento do canal principal - Lcp (Km)	8.3
Densidade de drenagem - Dd (Km/Km ²)	3.89
Densidade Hidrográfica - Dh (can./Km ²)	5.22
Razão de Textura - Tx (can./Km)	3.36
Textura Geológica - Tg (Km/Km)	6.64
Razão de Forma - Rf (Km ² /Km ²)	0.24

É o que nos indicam os outros índices morfométricos.

O valor baixo de Razão de forma (0.24) nos mostra um afastamento grande da forma circular, forma ideal para uma boa drenagem de uma bacia, o que pode ser visualizado no Mapa 3.

Há uma grande concentração hidrográfica na parte norte da bacia, porção de menor superfície, ocasionando baixa Razão de textura (Tx) e Densidade hidrográfica (Dh) considerando toda a bacia. A formação e estrutura geológica da bacia pode responder por este fato, pois a área mais impermeável da bacia se situa ao norte, ou seja, a formação rochosa de gnaisses granitóides. Isto reflete no valor bem baixo de Textura Geológica (Tg), onde a rede de drenagem só é mais densa nesta parte da bacia.

Valores baixos também foram encontrados em uma sub-bacia do Rio da Cachoeira, na Floresta da Tijuca (Maciço da Tijuca - RJ), de formação geológica semelhante (COELHO NETTO, 1979).

2) Reflectância

Os resultados do método de classificação empregado na obtenção de classes de reflectância, o de Componentes Principais, pode ser visualizado na Tabela 6. As classes contam com os maiores valores de reflectância na banda 4 do TM-Landsat e os menores na banda 2, e a banda 5 é intermediária. Os maiores Coeficientes de Variação (CV%) se encontram na classe de maior reflectância na banda 2 e as de menor reflectância nas bandas 4 e 5 do TM-Landsat. A banda que menos influencia no modelo é a banda 2, devido ao seu menor coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 6: Classes de Reflectância e suas médias (m), desvios padrões (d.p.), coeficientes de variação (CV%) e o coeficiente de determinação para o modelo (R^2).

Classe de Reflectância	Bandas								
	2			4			5		
	<i>m*</i>	<i>d.p.</i>	<i>CV%</i>	<i>m</i>	<i>d.p.</i>	<i>CV%</i>	<i>m</i>	<i>d.p.</i>	<i>CV%</i>
<i>alta</i>	17a	7	41	70a	7	10	33a	6	18
<i>baixa</i>	12c	3	21	28c	8	30	11c	5	42
<i>média</i>	14b	3	22	49b	6	13	23b	4	18
<i>R²</i>	0.15			0.73			0.67		

* diferentes letras significam que as médias diferem estatisticamente a $\alpha = 0,001$.

Como é visto no Mapa 9, as áreas de alta reflectância coincidem com a área urbana, ao Sul (Distrito de Tinguá), área de cultura olerícola, ao Sul, e de pastagens, a Leste, e com áreas de grande altitude (> 1000 m), ao Norte, onde a vegetação é mais rala, ocorrendo gramíneas e estrato arbustivo bem espaçado.

As áreas de média e baixa reflectância se confundem às vezes. As primeiras parecem estar associadas a áreas de sombra na imagem, ou seja, de aspectos N-NE-NO-O, no ponto sul e central da bacia, como também a áreas de menor densidade florestal, como capoeiras, pastos sujos e cultivos de espécies arbóreas de menor porte. As segundas estão normalmente associadas à drenagem e à área de influência da umidade, ou seja, a

uma vegetação ciliar.

Mas esta delimitação não é definitiva. Analizando as três bandas, através dos seus variogramas no trajeto 1 (Variogrupo 3) e no trajeto 2 (Variogrupo 4), podemos reparar que no primeiro trajeto não se vê muita diferença entre as bandas 4 e 5 do TM-Landsat, talvez devido aos picos de absorção da água da drenagem em ambas as bandas do infravermelho, já que os píxels deste trajeto participam da rede de drenagem, mascarando o efeito geomorfológico na direção montante da bacia. Já na banda 2, do visível do TM-Landsat, podemos reparar três regiões distintas: a primeira nos primeiros 500 m, onde existe uma variação da área urbana (Tinguá - Figura 7) para uma área agrícola; na segunda, existe uma constância até os 4000 m, onde a vegetação de baixa estatura influencia os píxels da drenagem; e finalmente, onde há a influência da vegetação de maior porte e densidade, a partir dos 4000 m.

No segundo trajeto (Variogrupo 4) não existe diferença entre os três variogramas, em termos de forma, onde pode-se notar uma constância ao longo de todo o trajeto até cerca de 3200 m, onde se alternam áreas de média e baixa reflectância, não impondo variação no variograma. Aos 3200 metros existe uma área de alta reflectância, talvez um desmatamento ou uma propriedade pastoril, onde há um aumento na diferença de variância entre os píxels nas três bandas.

Vemos que a diferença entre as classes de baixa e média reflectância só é significativa na análise estatística proposta (Tabela 6) e não no variograma, colocando dificuldades à distinção entre estas duas classes a nível de verdade terrestre.

Como foi visto, a classificação não-supervisionada não conseguiu distinguir significativamente mais de três classes dentro da área de estudo, o que talvez poderia ter sido obtido se fosse utilizado uma classificação supervisionada, através de um processador digital de imagens, ou ainda através de uma interpretação visual de uma imagem em papel do local (o que não foi possível devido a diversos fatores alheios à vontade). Uma classificação não-supervisionada não leva normalmente em conta o conhecimento prévio do local em estudo e sim somente a variância da reflectância expressa nos "píxels" sem atentar pela sua posição e forma espacial. Daí, a utilização de variogramas no sentido de se determinar a diferença das variâncias de dentro de cada canal de imageamento utilizado na área de estudo, como também para evidenciar a posição e forma como que se apresentam as variações da reflectância, para aí sim, escolher a melhor forma e classificação.

3) Qualidade d'água

Tabela 7: Percentagem de cada classe de qualidade d'água incluída em cada classe dos Atributos Primários e do Plano de Susceptibilidade à Erosão, na Bacia do rio Boa Esperança - RJ.

Atributos		Sedimentos			pH					Condutividade			
		1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4
<i>Gradiente</i>	1	3.8	0.8	1.9	0.9	3.7	1.8	0	0	0.8	4	0.7	1
	2	30.	15.	5.8	1.5	10.	24.	11.	3.4	5.3	25.	12.	7.2
	3	8.1	8	0.2	0	0.2	5.2	6	4.9	2.2	9.9	1.8	2.4
	4	8.1	2.7	0	0	0	1.8	6.3	2.7	6.3	4.5	0	0
	5	10.	0.2	0	0	0	0.2	9.8	0.2	9.8	0.5	0	0
	6	5.2	0	0	0	0	0	5.2	0	5.2	0	0	0
<i>Declividade</i>	1	6.6	1.7	1.8	0.9	3.6	3.4	1.8	0.3	1.8	5.6	1.7	1
	2	13.	5.9	1.6	0.6	3	6.8	8.8	1.8	6.5	8.5	3.4	2.6
	3	15.	8.1	2.2	0.4	3.1	9.4	10.	3	6.6	10.	4.8	3.7
	4	8.9	3.9	1.2	0.3	1.7	6	4.6	1.5	3.6	6.9	2	1.6
	5	20.	7.1	1.1	0.3	2.8	7.6	13.	4.6	11.	12.	3.5	1.8
<i>Aspecto</i>	1	14.	7.1	1	0.5	1.5	5.5	11.	3.7	8.7	9.2	2.3	2.3
	2	13	6.2	0.7	0.3	3.1	5.3	9	2.4	4.7	8.9	4.5	1.8
	3	6.8	1.7	0.2	0.2	1.4	2	4.4	0.7	2.9	3.3	2.4	0.1
	4	4.4	0.4	0.7	0.1	1.5	1.2	2.8	0	2	1.3	1.7	0.6
	5	2.6	0.8	1.1	0.1	1.5	2.5	0.5	0	0.8	1.9	0.7	1.1
	6	6.9	3.1	1.6	0.4	2.5	6.6	1.9	0.3	2.5	6.6	0.9	1.8
	7	3.9	1.8	0.7	0.1	0.6	4.1	0.8	0.8	1.1	3.9	0.6	0.9
	8	9.8	4.5	1	0.3	1	4.5	6.8	2.8	5.6	6.8	1.6	1.4
	9	3.5	1.1	0.7	0.4	1.3	1.7	1.6	0.4	1.4	2.5	0.8	0.6
<i>Concavidade</i>	1	56.	23.	7.8	2.4	14.	30.	31.	8.7	23	39.	14.	10
	2	8.5	3	0.1	0	0.1	2.1	7.1	2.2	6.2	4.3	0.5	0.6
	3	0.5	0.3	0	0	0	0.1	0.5	0.3	0.4	0.4	0	0.1
<i>Reflectância</i>	1	3.7	0.4	0.6	0.5	1.5	1.1	1.4	0.2	0.8	2.9	0.6	0.3
	2	33.	15.	2.5	0.6	6.4	19.	17.	7.1	13.	27	6.8	4.5
	3	28	11.	4.8	1.4	6.3	12.	19.	3.9	15.	14.	8	5.8
<i>SUSCEP.</i>	1	35.	16.	4.3	0.9	8.2	22	17.	6.7	13.	27.	8.2	6.1
	2	23.	9.1	2.8	1.1	4.7	9.6	16.	3.6	12.	13.	5.7	3.9
	3	6.5	1.5	0.8	0.5	1.3	1.6	4.6	0.9	3.5	3.1	1.5	0.6

Em relação aos atributos de qualidade d'água, pode-se reparar que tanto o pH mais baixo (Mapa 10) quanto a contribuição maior de sedimentos (Mapa 12) coincidem com a área de alta reflectância. O decrescimo do pH e o aumento dos sedimentos totais, que se relacionam, ocorrem quanto mais próximo da saída da bacia a massa d'água se aproxima, o que pode ser observado nas Tabelas 7 e 8.

Na Tabela 7 encontram-se as intersessões, medidas em percentagem, entre as classes dos atributos topográficos, reflectância, a classe final de susceptibilidade à erosão, e as classes de qualidade d'água. E na Tabela 8 ocorre o mesmo, mas entre as próprias classes de qualidade d'água.

Tabela 8: Percentagem de cada classe de qualidade d'água incluída em cada classe de qualidade d'água, na Bacia do rio Boa Esperança - RJ.

Atributos		<i>pH</i>					<i>Condutividade</i>			
		1	2	3	4	5	1	2	3	4
<i>Sedimentos</i>	1	0	14.2	21.5	29.2	0.4	23.4	31.3	10.7	0
	2	0	0	6.2	9.8	10.8	6.2	10.8	4.7	5.1
	3	2.4	0	5.5	0	0	0	2.4	0	5.5
<i>pH</i>	1						0	2.4	0	0
	2						0	9.3	4.8	0
	3						6.2	21.5	0	5.5
	4						23.4	0	10.5	5.1
	5						0	11.2	0	0

Os pH's mais baixos ocorrem nas menores altitudes e coincidem com as áreas de maior contribuição de sedimentos, que é reflexo da mudança do tipo de uso que o solo vai recebendo.

Este comportamento pode ser visualizado nos Variogrupos 5 e 6. Ao longo da rede de drenagem (trajeto 1) vê-se dois grandes picos de variação da variância da quantidade de sedimentos, quando, a montante, há uma passagem de uma região de alta contribuição para uma de quase nenhuma contribuição de sedimentos, e outro, mais a montante, onde o trajeto passa por uma região onde ocorrem as três classes de contribuição, como pode

ser visto no Mapa 12. O mesmo acontece no trajeto 2, onde o pico se localiza na passagem de uma área sem contribuição para uma de pouca contribuição.

Ao longo da drenagem, à montante, a variação do pH cresce devagar nas áreas de maior carreamento de sedimentos e há um aumento da inclinação da curva quando há uma passagem para a área florestal da Reserva Biológica do Tinguá, o que pode ser também reparado no Mapa 10. Transversalmente à rede de drenagem (trajeto 2) não há mudança notável no comportamento da variação do pH.

Para a condutividade elétrica (Mapa 11) obteve-se valores abaixo de 0.005 uS, o que significa que a condutividade era baixa em toda a bacia na época da coleta das amostras, o que pode levar a crer em um baixo processo de intemperização das rochas gnáissicas, com pouca liberação de minerais para a rede de drenagem. Isso remete às áreas de alta declividade, mas de média e baixa reflectância, que segundo a Tabela 7, não contribuem com sedimentos e tem pH próximo a 7. Os variogramas nas duas direções, apesar da baixa condutividade, mostram picos de variação na passagem de uma mancha para outra, como pode ser observado superpondo-se o Mapa 11 com o 1 e comparando-os com os variogramas.

4) Susceptibilidade à erosão

Finalmente o Mapa de Áreas com Susceptibilidade à Erosão na Bacia do Rio Boa Esperança (Mapa 14).

Superpondo-o ao mapa do traçado de drenagem (Mapa 3), pode-se reparar na grande influência topográfica na porção norte da bacia, onde as áreas adjacentes, ou seja, com influência da drenagem ou de maior concentração hídrica, são as mais propícias ao processo de erosão.

A reflectância já possui maior influência, devido a sua maior variabilidade, na porção sul, perto da saída da bacia, onde associada à topografia determina, como de maior susceptibilidade à erosão, as áreas urbana e agrícola, ou seja, a baixada, local de depósito de sedimentos provenientes da serra.

Isto está de acordo com o que se concluiu com respeito às variáveis de qualidade d'água, que aponta esta região como a de maior produção de sedimentos (Mapa 12) e de menor pH (Mapa 10).

Apesar de na porção norte da bacia existirem áreas propícias à erosão, essas sub-bacias não aparecem como contribuidoras de sedimento. Isto ocorre, sem dúvida, devido à presença da vegetação, diminuindo a velocidade de intemperização das rochas e retendo a água da chuva e o carreamento de sedimentos para a rede de drenagem. Talvez, aumentando-se o peso da variável reflectância, em relação aos atributos topográficos, tenha-se uma melhor definição da susceptibilidade em áreas de relevo acidentado.

Mas, mesmo assim, podemos supor que sem a presença da vegetação, aquelas sub-bacias estariam mais expostas ao processo erosivo, aumentando o carreamento de sólidos; pois, se em área não declivosa e sem cobertura vegetal o carreamento ocorre, pode-se imaginar o que aconteceria em área de relevo movimentado.

CONCLUSÕES

O Sistema de Informações Geográficas mostrou-se uma potente ferramenta no tratamento e manipulação de informações ambientais representadas espacialmente, é necessário ter em mente os que se relacionam e o modo de relacionamento.

As variáveis utilizadas neste trabalho serviram aos objetivos propostos, tanto no inter-relacionamento, a fim de serem manipuladas pelo SIG, como pela sua suficiência na definição de áreas com susceptibilidade à erosão. A categorização das variáveis utilizadas permitiu o intercruzamento de informações de diferentes tipos, desde que fossem no formato "raster". Mas não esgotaram as possibilidades. Podem ser introduzidas outras variáveis que se relacionem com processos de erosão, tanto no sentido de causa como efeito. Pode-se citar variáveis relacionadas à vegetação (dendrométricas, ecológicas e fisiológicas), ao solo (de fertilidade, granulometria, mecânica, condutividade e etc.), ao substrato rochoso, à precipitação (de intensidade, periodicidade, qualidade e distribuição), outras de qualidade d'água, outras formas de classificação e interpretação de diversos tipos de produtos de sensores remotos, e outros índices morfométricos.

A definição das variáveis não cabe ao SIG e sim às ciências que as estudam no que concerne às suas características e relacionamentos dentro da realidade. Ao SIG cabe oferecer as mais variadas formas de representação e relacionamento adequadas a estas variáveis.

O mapa temático e o variograma são duas formas de representação dos atributos distribuídos espacialmente, onde o primeiro apresenta os dados brutos ou categorizados e o segundo a variância dos dados brutos. Mas ambas estão presas à resolução destes dados, pois quanto mais afastada esta está da mínima maior é o afastamento, do gráfico, da diversidade da realidade estudada ou representada.

A vantagem de uma forma é o que falta na outra, ou seja, a primeira proporciona uma visão global da distribuição dos dados, o que só é possível através de diversos variogramas em direções diferentes. Já, o variograma permite a observação das áreas onde existe uma maior variação das variâncias daquele atributo, o que se torna difícil na representação em forma cloroplética ou temática.

Mas, o objetivo principal de ambas as formas são diferentes. A representação tridimensional serve para o cruzamento de diversos planos de informação com a finalidade de gerar outro temas, com a mesma georeferência. Já o variograma serve como base para interpolações de outros pontos da própria variável estudada ("krigagem"), na área amostrada, ou de outras variáveis ("co-krigagem"), no mesmo local geográfico, espacialmente referenciadas.

Devido às características próprias de cada representação, a Geostatística deveria fazer parte dos "pacotes" de SIG, para auxiliar a interpretação dos dados georeferenciados, principalmente quanto à qualidade de amostragem (resolução) ou para a definição de novos pontos de amostragem.

O uso da geoestatística, através dos variogramas, permitiu demonstrar a eficiência da categorização utilizada para as variáveis em estudo pela grande relação existente entre o comportamento das classes da variável e o seu respectivo variograma. A anisotropia das variáveis estudadas na bacia foi um elemento importante para se chegar à conclusão dos diversos fatores que as controlam, demonstrando que talvez o melhor formato para o "píxel" fosse o retangular com o maior lado no sentido N-S.

O uso da reflectância como variável no SIG não trouxe muita significância à análise talvez devido ao uso do canal 2 do Landsat-TM em vez do 3. O canal 2 do Landsat-TM detecta a reflectância da vegetação verde sadia, enquanto o canal 3 é o que capta a absorção da clorofila, proporcionando uma maior diferenciação das classes de vegetação do que o canal 2. Talvez, por isso, a pequena participação do canal 2 no modelo proposto (Tabela 6), pois, ele, por si, só iria diferenciar área com vegetação e sem vegetação, sem captar nuances desta vegetação, como o porte (arbóreo, arbustivo e rasteiro) e a disposição espacial (agrícola, florestal, pasto, etc). Esse problema poderia ter sido contornado se houvesse disponibilidade do canal 3 ou de uma imagem em papel para uma interpretação visual. Outro fator que pode ter acarretado esse problema é a mudança de resolução da imagem, pois a imagem original possui resolução de 30 m x 30 m e o "píxel" utilizado no trabalho foi de 50 m x 50 m, havendo aí uma perda acima de 50% da informação, minimizada pela interpolação matemática.

Outro fator importante é que a resolução usada na geração de dados (50 metros) foi adequada, o que pode ser percebido através dos variogramas, onde não houve constância na representação gráfica da diferença de variâncias, ou seja, os "píxels" são interdependentes (autocorrelacionadas) e não amostras ao acaso.

O Sistema de Informações Geográficas utilizado neste trabalho, o MAP, aliado à

outros "softwares" de tratamento e manipulação de dados, foi suficiente para o nível proposto, alcançando os objetivos esperados.

Em termos de produtividade, o MAP deixa a desejar devido à necessidade de outros "softwares" que disponibilizem a informação para o seu uso, o que acarreta uma perda de tempo na aprendizagem de um outro "software" e na manipulação dos dados dentro deste. Mas em termos operacionais, o MAP é de fácil manipulação e aprendizagem, já que é um "software" universitário.

Uma coisa que é necessária em relação a um SIG é a comprovação dos resultados na sua verdade terrestre, o que este trabalho não realizou devido a ser um trabalho contínuo e demorado. Após chegar ao mapa de Susceptibilidade deve-se ir ao campo avaliar a correspondência de cada mancha no campo à sua classe no mapa. Deve-se acompanhar continuamente os parâmetros de qualidade d'água, como também a mudança de utilização do solo e montar parcelas onde se mediria o movimento do solo, ou seja, a erosão superficial. Mas isto já deixaria de ser um trabalho com SIG em si e sim uma formação de banco de dados atualizado constantemente para a bacia.

As possibilidades de uso de um Sistema de Informações Geográficas são proporcionais ao número de relações que podem ser feitas e descobertas entre as inúmeras informações, ou manifestações, que o meio ambiente pode proporcionar, e a, cada vez mais, especificações que os objetivos alcançam, aliadas ao desenvolvimento tecnológico inerente à aquisição de dados ambientais e ao próprio processo e formas de manipulação dos dados.

Estas relações não são inerentes ao SIG e sim ao sujeito que é responsável pela definição da lógica destas relações, lógica esta que deve ser "matematizada" dentro de um SIG através das funções deste.

O *Sistema de Informações Geográficas* é, como deveria ser, um instrumento de análise da realidade feito por aquele que detém a racionalidade, que é ativo em relação a esta realidade, ou seja, é sujeito de transformação desta para a sua sobrevivência, o *Homem*.

Tanto mais complexas as relações dentro desta realidade, mais completo será este SIG, quanto mais eficiente for este Homem no uso de sua racionalidade.

BIBLIOGRAFIA

- ACREMAN, M.C. & SINCLAIR, C.D.. Classification of drainage basins according to their physical characteristics;an application for flood frequency analysis in Scotland. **J. of Hydrology**, Amsterdam, 84: 365-80, 1986.
- ANANABA, S.E.. An application of probability theory for determining lineament and drainage density in Nigeria. **ITC Journal**, Enschede, 1: 33-6, 1989.
- ANDERSON, H.W.. Relating sediment yield to watershed variables. **Trans. Amer. Geoph. Union**, Washington, 38(6): 921-24, dec 1957.
- A.P.H.A.. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 14 ed., Washington, Public Health Association. 1976, 1193p.
- ARBIA, G. & COLI, M.. The use of GIS in spatial and space-time statistical surveys. in: International Statistical Institute Congress, Vol 2, Cairo, 9-17 de setembro, 1991. *Anais*. International Association of Survey Statistician, 48 sessão, Cairo, p.464-490, 1991.
- ARGIALAS, D.P.; LYON, J.G. & MINTZER, O.W.. Quantitative description and classification of drainage patterns. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 54(4): 505-9, abr 1988.
- BAND, L.E.. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. **Water Resources Research**, Washington, 22(1): 15-24, jan 1986.

- BATISTA, J.L.F.. Uso da teoria de probabilidades geométricas para estimar o comprimento total dos canais de escoamento numa bacia hidrográfica. **Revista IPEF**, Piracicaba, 37: 73-4, 1987.
- BERRY, J.K.. A mathematical structure for analysing maps. **Environmental Management**, New York, 11(3): 317-25, 1987.
- BESCHTA, R.L.. Conceptual models of sediment transport in streams. in: THORNE, C.R.; BATHUST, J.C. & HEY, R.D.. **Sediment transport in Gravel-bed rivers**. J. Wiley & Sons, New York, p. 387-419, 1987.
- BEVEN, K.J. & WOOD, E.F.. Catchment geomorphology and the dynamics of runoff contributing areas. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, 65: 139-58, 1983.
- BOCCO, G.; PALACIO, J. & VALENZUELA, C.R.. Gully erosion modelling using GIS and geomorphologic knowledge. **ITC Journal**, Enschede, 3: 253-61, 1990.
- BORK, H.R. & ROHDENBURG, H.. Transferable parameterization methods for distributed hydrological and agroecological catchment models. **CATENA**, Braunschweig, 13: 99-117, 1986.
- BROONER, W.G.. An overview of remote sensing input to geographic information systems. In: PECORA SYMPOSIUM, 7, Pecora, 1982. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1982. p. 318-29.
- BROWN, D.G.; BIAN, L. & WALSH, S.J.. Response of a distributed watershed erosion model to variations in input data aggregation levels. **Computers & Geosciences**, New York, 19(4): 499-509, 1993.
- BURGESS, T.M. & WEBSTER, R. . Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I The semi-variogram and punctual kriging. **J. of Soil Science**, Oxford, 31: 315-331, 1980.
- BURGESS, T.M. & WEBSTER, R. . Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II Block Kriging. **J. of Soil Science**, Oxford, 31: 333-341, 1980.
- BURGESS, T.M. & WEBSTER, R. . Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. III Changing drift and universal kriging. **J. of Soil Science**, Oxford, 31: 505-24, 1980.

- BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. & McBRATNEY, A.B.. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. IV sampling strategy. **J. of Soil Science**, Oxford, 32: 643-59, 1981.
- BURROUGH, P.A.. **Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment**. Clarendon Press, Oxford, 1986, 470p..
- CARVALHO, V.C. et alii. Aplicações de dados de sensoriamento remoto na avaliação da degradação da cobertura vegetal. São José dos Campos, **INPE**, (4333-PRE/1179), set. 1987, 19 p..
- CASTRO, P.S.. Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, MG. Piracicaba, 1980, 107p. (Dissertação - ESALQ\USP).
- CEBRIAN, J.A. & MARK, D.M.. Gestion y perspectivas de desarrollo de sistemas de informacion geografica. **Estudios Geograficos**, Instituto 'Juan Sebastian Elcano', Madri, 48(188): 359-78. jul-set 1987.
- CHOU, Y.H.. Slope-line detection in a vector-based GIS. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, 58(2): 227-33, fev. 1992.
- CHOUDHURY, B.J. & TUCKER, C.J.. Satellite observed seasonal and inter-anual variation of vegetation over the Kalahari, the Great Victoria desert, and the Great Sandy desert: 1979-1984. **Remote Sensing of Environment**, New York, 23: 233-41, 1987.
- CISSE, A.K.; DeVRIES, M.E. & GRITZNER, J.. The use of remote sensing and a geographic information system for natural resource management in Senegal. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 18., Paris, 1984. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1984. p. 1197-206.
- CLARK, I.. **Practical Geostatistics**. London, Elsevier, 1979, 429p..
- COELHO NETTO, A.L.. O processo erosivo nas encostas do Maciço da Tijuca, RJ. Parte 1: Condicionantes e Diretrizes. Rio de Janeiro, 1979, 112 p., ilustr. (Dissertação - UFRJ).

- COHEN, W.B.; SPIES, T.A. & BRADSHAW, G.A.. Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. **Remote Sensing of Environment**, New York, 34(3):167-78, 1990.
- CONESE, C.; MARACCHI, G. & MASELLI, F.. Improvement in Maximum Likelihood Classification performance on highly rugged terrain using Principal Components Analysis. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 14(7): 1371-82, 1993.
- COPPOCK, J.T.. The analogue to digital revolution: a view from an unreconstructed geographer. **The American Cartographer**, Washington, 15(3):263-75, jul 1988.
- CRESSIE, N.. Geostatistics. **The American Statistician**, Alexandria, 43(4): 197-202, nov. 1989.
- CURRAN, P.J.. The semivariogram in remote sensing: an introduction. **Remote Sensing of Environment**, New York, 24(4): 493-507, 1988.
- DeVRIES, M.E.. Use of GIS to integrate remote sensing and other natural resource data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 19., Ann Arbor, 1985. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1985. p. 135-40.
- DUGUAY, C.; HOLDER, G.; LeDREW, E.; HOWARTH, P. & DUDYCHA, D.. A software package for integrating digital elevation models into the digital analysis of remote sensing data. **Computers & Geosciences**, New York, 15(5): 669-78, 1989.
- DUGUAY, C.R. & LeDREW, E.F.. Estimating surface reflectance and albedo from Landsat-5 Thematic Mapper over rugged terrain. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, 58(5): 551-8, maio 1992.
- EIDENSHINK, J.C. & WEHDE, M.E.. Use of remote sensing inputs in geographic information systems for watershed management. In: PECORA SYMPOSIUM, 7, Pecora, 1982. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1982. p. 482-93.
- ENGSTROM, W.N.. Morphometric analysis of mountain drainage basins in the Basin and Range Province, USA. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Berlin, 33(4): 443-53, dez. 1989.

- ENTZ, T. & CHANG, C.. Evaluation of soil sampling schemes for geostatistical analysis: a case study for soil bulk density. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, 71: 165-76, maio 1991.
- EVANS, I.S.. General geomorphometry derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R.J.. **Spatial analysis in geomorphology**. New York, 1971. p. 17-90.
- FAIRFIELD, J. & LEYMARIE, P.. Drainage networks from grid digital elevation models. **Water Resources Research**, Washington, 27(5): 709-17, maio 1991.
- FLACKE, W.; AUERSWALD, K. & NEUFANG, L.. Combining a modified universal soil loss equation with a digital terrain model for computing high resolution maps of soil loss resulting from rain wash. **CATENA**, Cremlingen, 17: 383-97, 1990.
- FORAN, B.D.. Detection of yearly cover change with LANDSAT-MSS on pastoral landscapes in Central Australia. **Remote Sensing of Environment**, New York, 23: 233-50, 1987.
- FORESTI, C. & PEREIRA, M.D.B.. Utilização de índices vegetativos obtidos com dados do sistema TM-LANDSAT no estudo da qualidade ambiental urbana: cidade de São Paulo. São José dos Campos, **INPE**, (4177-PRE/1071), maio 1987, 24p..
- FOSTER, G.R. & WISCHMEIER, W.H.. Evaluating irregular slopes for soil loss production. **Transactions of American Society of Agriculture Engineers**, St. Joseph, 17: 305-09, 1974.
- FRANKLIN, S.E.. Geomorphometric processing of digital elevation models. **Computers & Geosciences**, New York, 13(6): 603-9, 1987.
- FRANKLIN, S.E.. Topographic context of satellite spectral response. **Computers & Geosciences**, New York, 16(7): 1003-10, 1990.
- FRANKLIN, S.E.. Image transformations in mountainous terrain and the relationship to surface patterns. **Computers & Geosciences**, New York, 17(8): 1137-49, 1991.
- FRANKLIN, S.E. & WILSON, B.A.. Spatial and spectral classification of remote-sensing imagery. **Computers & Geosciences**, New York, 17(8): 1151-72, 1991.

- FRANKLIN, S.E. & WILSON, B.A.. A three-stage classifier for remote sensing of mountain environments. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, 58(4): 449-54, abr. 1992.
- FREEMAN, T.G.. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. **Computers & Geosciences**, New York, 17(3): 413-22, 1991.
- FUNG, T. & LeDREW, E.. Application of principal components analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 53(12): 1649-58, dez 1987.
- GARCIA, R.H.; SENDRA, J.B. & DE MIGUEL, J.A.C.. Nuevas tendencias en la investigacion geografica: el sistema de informacion del Instituto Geografico Nacional (SIGNA). **Estudios Geograficos**, Instituto "Juan Sebastian Elcano". Madrid, 41(161):447-65, nov. 1980.
- GARDINER, V.. Redundancy and spatial organization of drainage basin form indices: an empirical investigation of data from north-west Devon. **Transactions of the Institute of British Geographers**, London, 3: 416-31, 1978.
- GONG, P. & HOWARTH, P.J.. A graphical approach for the evaluation of land-cover classification procedures. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 11(5): 899-905, 1990.
- GONG, P. & HOWARTH, P.J.. Frequency-based contextual classification and gray-level vector reduction for land-use identification. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, 58(4): 423-37, abr. 1992.
- GOODCHILD, M.F.. Geocoding and Geosampling. In: GAILE, G.L. & WILLMOTT, C.J.. **Spatial statistics and models**. Dordrecht, 1984. p 33-53.
- GREGORY, K.J. & WALLING, D.E.. **Drainage basin form and process**. New York, John Wiley & Sons, 1973. 447p.
- GUPTA, S.K. & SOLOMON, S.I.. Distributed numerical model for estimating runoff on sediment discharge of ungaged rivers - 1. The information system. **Water Resources Research**, Washington, 13(3): 613-36, 1977.

- HAERTEL, V. & CENTENO, J.S.. Utilização do conceito de píxel mistura no processo de classificação da cobertura vegetal em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia**, Rio de Janeiro, 9(2): 87-100, out. 1991.
- HEVESI, J.A.; FLINT, A.L. & ISTOK, J.D.. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural Analysis. **J. of Applied Meteorology**, Boston, 31(7): 661-676, jul. 1992.
- HEVESI, J.A.; FLINT, A.L. & ISTOK, J.D.. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part II: Isohyetal maps. **J. of Applied Meteorology**, Boston, 31(7): 677-688, jul. 1992.
- HUANG, S. & FERNG, J.. Applied land classification for surface water quality management: I. Watershed classification. **J. of Environmental Management**, London, 31: 107-126, 1990a.
- HUANG, S. & FERNG, J.. Applied land classification for surface water quality management: II. Land process classification. **J. of Environmental Management**, London, 31: 127-141, 1990b.
- JENSON, S.K.. Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. **Hydrological Processes**, Chichester, 5(1): 31-44, 1991.
- JENSON, S.K. & DOMINGUE, J.O.. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 54(11): 1593-1600, nov 1988.
- JOURNEL, A.G.. Geostatistics: models and tools for the earth sciences. **Mathematical Geology**, New York, 18(1): 119-140, 1986.
- JÜRGENS, C. & FANDER, M.. Soil erosion assessment and simulation by means of SGEOS and ancillary digital data. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 14(15): 2847-55, 1993.
- JUSTICE, C.O.; WHARTON, S.W. & HOLBEN, B.N.. Application of digital terrain data to quantify and reduce the topographic effect on Landsat data. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 2(3): 213-30, 1981.

- KADRO, A.. Use of airborne MSS and LANDSAT-TM data for monitoring and forest decline inventory. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING, 7, Kyoto, 1988. *Proceedings*. Falls Church, ASPRS, 1988. p.238-48.
- KENNEDY, P.J.. Monitoring the phenology of tunisian grazing lands. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 10(4,5): 835-45, 1989.
- KOFFLER, N.F.. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru. São José dos Campos, 1976, 167p. ilust. (Dissertação - INPE\SCT\ME).
- LEE, D.C.L.; SHIMABUKURO, Y.E. & HERNANDEZ FILHO, P.. **Análise de componentes principais para o monitoramento de áreas reflorestadas**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. Anais. S_o José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990. vol. 1, p. 48-60.
- LEPRIEUR, C.E.; DURAND, J.M. & PEYRON, J.L.. Influence of topography on forest reflectance using Landsat Thematic and digital terrain data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 54(4): 491-6, abr 1988.
- LIPTON, A.E.. Effects of slope and aspect variations on satellite surface temperature retrieval and mesoscale analysis in mountainous terrain. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, 31(3): 255-64, 1992.
- LLOYD, D.. A phenological description of iberian vegetation using short wave vegetation index imagery. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 10(4,5): 827-33, 1989.
- LOTSPEICH, F.B.. Watersheds as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. **Water Resources Bulletin**, Bethesda, 16(4): 581-6, aug. 1980.
- MALINGREAU, J.P.; TUCKER, C.J. & LAPORTE, N.. AVHRR for monitoring global tropical deforestation. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 10(4,5): 855-67, 1989.
- MALO, D.D.; WORCESTER, B.K.; CASSEL, D.K. & MATZDORF, K.D.. Soil-landscape relationships in a closed drainage system. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 38(5): 813-8, 1974.

- MARKS, D.; DOZIER, J. & FREW, J.. Automated basin delineation from digital terrain data. **NASA Technical Memorandum**, (84984), Greenbelt, jan 1983.
- MATHER, P.M. & DOORNKAMP, J.C.. Multivariate analysis in geography - with particular reference to drainage-basin morphometry. **Trans. of the Inst. of British Geographers**, London, 51: 163-87, 1970.
- McBRATEY, A.B. & WEBSTER, R.. The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables. II- program and examples. **Computers & Geosciences**, New York, 7(4): 335-65, 1981.
- McBRATEY, A.B.; WEBSTER, R. & BURGESS, T.M.. The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables. I- theory and method. **Computers & Geosciences**, New York, 7(4): 331-34, 1981.
- McCORMACK, J.E.; GAHEGAN, M.N.; ROBERTS, S.A.; HOGG, J. & HOYLE, B.S.. Feature-based derivation of drainage networks. **Int. J. of Geographical Information Systems**, New York, 7(3): 263-79, 1993.
- McDERMID, G.J. & FRANKLIN, S.E.. Spectral, spatial and geomorphometric variables for the remote sensing of slope processes. **Remote Sensing of Environment**, New York, 49(1): 57-71, 1994.
- MEDEIROS, J.S. & AMARO, E.S.. Mapeamento das alterações da cobertura vegetal natural: novo procedimento metodológico utilizando-se os sistemas SITIM/SGI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. *Anais*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990. vol. 1, p. 91-6.
- MENDES, A.; HAERTEL, V.; HARTMAN, C. & CETENO, J.. Estimativa de parâmetros de qualidade de água através de técnicas de sensoriamento remoto e métodos de análise multivariada. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. *Anais*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990. vol. 3, p. 840-9.
- MERCHANT, J.W.. GIS-based groundwater pollution hazard assesement: a critical review of the DRASTIC model. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, 60(9): 1117-27, set. 1994.

- MOLCHANOV, A.A.. **Hidrologia Florestal**. Lisboa, Fund. Calouste Gulbenkian, 1963. 419p.
- MONTGOMERY, D.R. & DIETRICH, W.E.. Source areas, drainage density, and channel initiation. **Water Resources Research**, Washington, 25(8): 1907-18, ago. 1989.
- MOORE, I.D.; BURCH, G.J. & MACKENZIE, D.H.. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. **Transactions of the ASAE**, Michigan, 31(4): 1098-107, 1988.
- MOORE, I.D.; O'LOUGHLIN, E.M. & BURCH, G.J.. A contour-based topographic model for hydrological and ecological applications. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, 13(4): 305-20, 1988.
- MOORE, I.D.; PANUSKA, J.C.; GRAYSON, R.B. & SRIVASTAVA, K.P.. Application of digital topographic modelling in hydrology. In *Modelling Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology*. **ASAE Publication**, 07-88. ASAE, St. Joseph, p. 447-61, 1988.
- MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B. & LADSON, A.R.. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, Chichester, 5(1): 3-30, 1991.
- MUKAI, Y.; SUGIMURA, T.; WATANABE, H. & WAKANORI, K.. Extraction of areas infested by Pine Bark Beetle using Landsat MSS data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 53(1): 77-81, jan. 1987.
- MYERS, W.L.. GIS information layers derived from Landsat classification. In: *PECORA SYMPOSIUM*, 7, Pecora, 1982. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1982. p. 366-72.
- NIEMANN, K.O.. Landscape drainage modelling to enhance Landsat classification accuracies. **Geocarto International**, Hong Kong, 6(1): 13-30, 1991.
- NIZEYIMANA, E. & BICKI, T.J.. Soil and soil-landscape relationships in the north central region of Rwanda, east-central Africa. **Soil Science**, Oxford, 153(3): 225-36, mar. 1992.

- NOVO, E.M.L.M.. **Sensoriamento Remoto - Princípios e aplicações**. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda. 1989. 308p.
- O'CALLAGHAN, J.F. & MARK, D.M.. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, New York, 28:323-44, 1984.
- OLIVEIRA, M.A.T.. Slope geometry and gully erosion development: Bananal, São Paulo, Brazil. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Berlin, 34(4): 423-34, dez. 1990.
- OLIVER, M.A. & WEBSTER, R.. Semivariograms for modelling the spatial pattern of landform and soil properties. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, 11: 491-504, 1986.
- OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. & GERRARD, J.. Geostatistics in physical geography. Part I: theory. **Trans. of the Institute of British Geographers**, London, 14(3): 259-69, 1989a.
- OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. & GERRARD, J.. Geostatistics in physical geography. Part II: applications. **Trans. of the Institute of British Geographers**, London, 14(3): 270-86, 1989b.
- O'LOUGHLIN, E.M.. Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. **J. of Hydrology**, Amsterdam, 53: 229-46, 1981.
- O'LOUGHLIN, E.M.. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. **Water Resources Research**, Washington, 22(5): 794-804, maio 1986.
- OSBORNE, L.L. & WILEY, M.J.. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. **J.of Environmental Management**, London, 26: 9-27, 1988.
- OVALLES, F.A. & COLLINS, M.E.. Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 50(2): 401-8, 1986.

- PALACIOS-VÉLEZ, O.L. & CUEVAS-RENAUD, B.. Automated river-course, ridge and basin delineation from digital elevation data. **J. of Hydrology**, Amsterdam, 86(3/4): 299-314, 1986.
- PECH, R.P.; GRAETZ, R.D. & DAVIS, A.W.. Reflectance modelling and the derivation of vegetation indices for an australian semi-arid shrubland. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 7(3): 389-403, 1986.
- PEREIRA, M.C.; AMARAL, S.; ZERBINI, N.J. & SETZER, A.W.. Estimativa da área total queimada no Parque Nacional das Emas com o uso de imagens da banda 3 do AVHRR: comparação com estimativas do TM-LANDSAT. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. *Anais*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990. vol. 2, p. 302-10.
- PHILLIPS, D.L.; DOLPH, J. & MARKS, D.. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 58: 119-41, 1992.
- PIRES, I.O.; STONE, T.A.; SCHLESSINGER, P. & BROWN, I.F.. Uso de calibração de dados AVHRR/NOAA com dados TM/LANDSAT, no monitoramento da cobertura florestal da Amazônia oriental, área teste: região de Marabá-Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. *Anais*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990. vol. 2, p. 536-44.
- PROY, C.; TONRÉ, D. & DESCHAMPS, P.Y.. Evaluation of topographic effects in remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, New York, 30(1): 21-32, 1989.
- QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALLIER, P. & PLANCHON, O.. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. **Hydrological Processes**, Chichester, 5(1): 59-79, 1991.
- RADAMBRASIL - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Folhas SF.23/24, Rio de Janeiro/Vitória**. Rio de Janeiro, 1983, vol. 32, 780 p..
- RINGROSE, S. & MATHESON, W.. Spectral assessment of indicators of range degradation in the Botswana Hardveld environment. **Remote Sensing of Environment**, New York, 23:379-96, 1987.

- ROO, A.P.J.; HAZELHOFF, L. & BURROUGH, P.A.. Soil erosion modelling using "ANSWERS" and geographical information systems. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, 14(6,7): 517-32, 1989.
- SADER, S.A.. Digital Image classification approach for estimating forest clearing and regrowth rates and trends. in: Proceedings of IGARSS'87 SYMPOSIUM, Ann Arbor, 18-21 maio, 1987. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1987. p. 209-13.
- SAMRA, J.S.; GILL, H.S. & BHATIA, V.K.. Spatial stochastic modelling of growth and forest resource evaluation. **Forest Science**, Bethesda, 35(3): 663-76, set 1989.
- SASOWSKY, K.C. & GARDNER, T.W.. Watershed configuration and geographic information system parameterization for SPUR model hydrologic simulations. **Water Resources Bulletin**, Bethesda, 27(1): 7-18, fev. 1991.
- SATTERWHITE, M.; RICE, W. & SHIPMAN, J.. Using landform and vegetative factors to improve the interpretation of LANDSAT imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 50(1): 83-91, jan. 1984.
- SEEMULLER, W.W.. The extraction of ordered vector drainage networks from elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, New York, 47: 45-58, 1989.
- SENOO, T.; KOBAYASHI, F.; TANAKA, S. & SUGIMURA, T.. Improvement of forest type classification by SPOT-HVR with 20 m mesh DTM. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 11(6): 1011-22, 1990.
- SHARMA, S.K. & ANJANEYULU, D.. Application of remote sensing and GIS in water resource management. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 14(17): 3209-20, 1993.
- SHARPLEY, A.N.. The enrichment of soil phosphorus in runoff sediments. **J. of Environmental Quality**, New York, 9(3): 521-26, 1980.
- SHARPLEY, A.N.. The selective erosion of plant nutrients in runoff. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 49(6): 1527-34, 1985.

- SIVERTUN, A.; REINELT, L.E. & CASTENSSON, R.. A GIS method to aid non-point source critical area analysis. **Int. J. of Geographical Information Systems**, New York, 2(4): 365-78, 1988.
- SKIDMORE, A.K.. Terrain position as mapped from a gridded digital elevation model. **Int. J. of Geographical Information Systems**, New York, 4(1): 33-49, 1990.
- SMITH, A.Y. & BLACKWELL, R.J.. Development of an information data base for watershed monitoring. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 46(8): 1027-38, aug 1980.
- SMITH, M.B. & BRILLY, M.. Automated grid element ordering for GIS-based overland modelling. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, 58: 579-85, maio 1992.
- SPRINSKY, W.H.. Transformation of positional geographic data from paper-based map products. **The American Cartographer**, Washington, 14(4): 359-66. 1987.
- STONE, T.A. & WOODWELL, G.M.. Shuttle radar A analysis of land use in Amazonia. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 9(1): 95-105, 1988.
- STRAHLER, A.N.. Quantitative slope analysis. **Bulletin of the Geological Society of America**, Washington, 67(5): 571-96, 1956.
- SUTHERLAND, R.A.. Selective erosion and sediment source identification, Baringo District, Kenya. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Berlin, 35(3): 293-304, set. 1991.
- TAJCHMAN, S.J. & LACEY, C.J.. Bioclimatic factors in forest site potential. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 14(4): 211-8, 1986.
- TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L. & RODRIGUEZ-ITURBE, I.. The fractal nature of river networks. **Water Resources Research**, Washington, 24(8): 1317-22, ago 1988.
- TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L. & RODRIGUEZ-ITURBE, I.. On the extraction of channel networks from digital elevation data. **Hydrological Processes**, Chichester, 5(1): 81-100, 1991.
- TOMLIM, C.D.. **The IBM computer version of Map Analysis Package**. Cambridge:

Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard Graduate School of Design, 1986.

TRIVERDI, M.M.; CHEN, C. & CRESS, D.H.. Object detection by step-wise analysis of spectral, spatial and topographic features. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, New York, 51(3): 235-55, 1990.

VALENZUELA, C.R. & BAUMGARDNER, M.F.. Selection of appropriate cell sizes for thematic maps. **ITC Journal**, Enschede, 3: 219-24, 1990.

VALÉRIO FILHO, M. & PINTO, S.A.F.. Resultados preliminares da utilização de imagens TM/LANDSAT na identificação de áreas submetidas a processos de erosão. São José dos Campos, **INPE**, (4111-PRE/1036), fev. 1987, 35p.

VENTURIERI, A.; FUNAKI, R.S. & MEDEIROS, J.S.. Mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra na região de Tucuruí através da classificação digital supervisionada de imagens TM/LANDSAT. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. *Anais*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990. vol. 1, p. 97-102.

VETTORAZZI, C.A.. Fotointerpretação de bacias hidrográficas e redes de drenagem em cinco solos da região do rio Ribeira do Iguape no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1985, 151p. ilustr. (Dissertação - ESALQ\USP).

VETTORAZZI, C.A.. Interpretação de imagens TM\Landsat-5, em duas escalas, na caracterização fisiográfica para mapeamento de solos. Piracicaba, 1988, 184p. ilustr. (Tese - ESALQ\USP).

VIEIRA, S.R.; HARTFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W.. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Davis, 51(3), jun 1983.

VIEUX, B.E.. Geographic information systems and non-point source water quality and quantity modelling. **Hydrological Processes**, Chichester, 5(1): 101-13, 1991.

VOGELMANN, J.E. & ROCK, B.N.. Used of Thematic Mapper data for the detection of forest damage caused by the Pear Thrips. **Remote Sensing of Environment**, New York, 30: 217-25, 1989.

- WALKER, P.A. & MOORE, D.M.. SIMPLE: an inductive modelling and mapping tool for spatially-oriented data. **Int. J. of Geographical Information Systems**, New York, 2(4): 347-63, 1988.
- WALSH, S.J.. Variability of Landsat MSS spectral response of forests in relation to stand and site characteristics. **Int. J. of Remote Sensing**, New York, 8(9): 1289-99, 1987.
- WEBSTER, R.. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science**, New York, 3: 1-70, 1985.
- WILTSHIRE, S.E.. Identification of homogeneous regions for flood frequency analysis. **J. of Hydrology**, Amsterdam, 84: 287-302, 1986.
- WOLOCK, D.M.; HORNBERGER, G.M. & MUSGROVE, T.J.. Topographic effects on flow path and surface water chemistry of the Llyn Brianne catchments in Wales. **J. of Hydrology**, Amsterdam, 115: 243-59, 1990.
- WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A.H. & JUPP, D.L.B.. The use of variograms in remote sensing: I. Scene models and simulated images. **Remote Sensing of Environment**, New York, 25(3): 323-48, aug 1988a.
- WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A.H. & JUPP, D.L.B.. The use of variograms in remote sensing: II. Real digital images. **Remote Sensing of Environment**, New York, 25(3): 349-79, aug 1988b.
- ZEVENBERGEN, L.W. & THORNE, C.R.. Quantitative analysis of land surface topography. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, 12: 47-56, 1987.
- ZHOU, Q.. A method for integrating Remote Sensing and Geographic Information System. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, 55(5): 591-96, maio 1989.

APÊNDICE I

Os mapas

Mapa 1: Trajetos utilizados para compor os variogramas para a Bacia do rio Boa Esperança

Mapa 2: Delimitação das Sub-bacias de cada ponto amostral da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 3 : Traçado da drenagem e do perímetro da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 4 : Mapa das classes de altitude da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 5 : Classes de resíduo da interpolação da Altitude da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 6 : Classes de Declividade da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 7 : Aspectos da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 8 : Classes de concavidade da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 9 : Classes de Reflectância da Bacia do rio Boa Esperança.

escala original : 1:50.000

Mapa 10 : Classes de pH da Bacia do rio Boa Esperança.

Mapa 11 : Condutividade (uS/cm) da Bacia do rio Boa Esperança.

Mapa 12 : Classes de Contribuição de Sedimentos da Bacia do rio Boa Esperança.

Mapa 13 : Classes de Distância da Drenagem da Bacia do rio Boa Esperança.

Mapa 14 : Classes de Graus de Susceptibilidade à Erosão da Bacia do rio Boa Esperança.

APÊNDICE II

Variogrupos

Variogrupo 1 - Variograma das variáveis de gradiente, declividade, aspecto e concavidade, para o 1º trajeto

Variogrupo 2 - Variograma das variáveis de gradiente, declividade, aspecto e concavidade, para o 2º trajeto.

Variogrupo 3 - Variograma dos três canais (2,4 e 5) do LANDSAT-TM, para o 1º trajeto.

Variogrupo 4 - Variograma dos três canais (2, 4 e 5) do LANDSAT-TM, para o 2º trajeto.

Variogrupo 5 - Variograma das três variáveis de qualidade d'água (sedimentologia, pH e condutividade) para o 1º trajeto.

Variogrupo 6 - Variograma das três variáveis de qualidade d'água (sedimentologia, pH e condutividade) para o 2º trajeto.

Variograma da distância de drenagem do trajeto 2 da Bacia do Rio Boa Esperança.

Apoio